

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA  
LA MOLINA**

**FACULTAD DE INGENIERIA AGRÍCOLA**



**“COEFICIENTE DE CULTIVO PARA EL CÉSPED AMERICANO  
(*Stenotaphrum secundatum*) UTILIZANDO LISÍMETROS DE  
DRENAJE, DURANTE LA ESTACIÓN DE OTOÑO - UNALM”**

Presentado por:

**JESÚS GUSTAVO PADILLA SOLDEVILLA**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE  
INGENIERO AGRÍCOLA**

Lima - Perú

2016

*Dedico este trabajo a mi abuelo Temistocles Soldevilla Merino, responsable de enseñarme la nobleza del agro y siempre ser mejor.*

*De igual manera a mis padres, por ser un ejemplo de superación, justicia, unidad, ímpetu y amor con sus hijos.*

*Finalmente a mis hermanos por enseñarme la sobriedad, dedicación, respeto, responsabilidad y la felicidad de seguir el camino en la vida que se desea seguir.*

*Agradezco a Dios por el regalo divino de la vida.*

*A mis padres y hermanos, por su ayuda espiritual y ser el aliciente para culminar esta investigación.*

*Al Vicerrectorado de Investigación de la Universidad Nacional Agraria La Molina que otorgo los recursos económicos y al Departamento de Recursos Hídricos de la Facultad de Ingeniería Agrícola por el uso de sus laboratorios y equipos.*

*A mi asesor y mentor Mg. Sc. David Ascencios, por su paciencia, dedicación, consejos y velar que el presente documento sea un aporte científico y técnico en servicio al agro.*

*A los doctores Eduardo Chávarri y Néstor Montalvo, el Mg. José Palacios y todos los ingenieros que mediante sus aportes técnicos enriquecieron la investigación.*

*A mi compañera Astrid Cifuentes, por su apoyo en las labores rutinarias para desarrollar el trabajo de campo en el estudio, por su buen ánimo a la hora de buscar soluciones en el ámbito técnico.*

*A los técnicos Alan Santibañez y Luis Leiva, por su disponibilidad y estar prestos a apoyar en la investigación.*

# I. INDICE GENERAL

RESUMEN.....	
SUMMARY.....	
II. INTRODUCCIÓN.....	1
2.1. OBJETIVOS.....	2
2.1.1. OBJETIVO PRINCIPAL.....	2
2.1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	3
III. REVISIÓN DE LITERATURA.....	4
3.1. CÉSPEDES.....	4
3.1.1. CÉSPED AMERICANO ( <i>Stenotaphrum Secundatum</i> ).....	6
3.2. EVAPOTRANSPIRACIÓN.....	6
3.2.1. CONCEPTO.....	6
3.2.2. EVAPOTRANSPIRACIÓN DEL CULTIVO DE REFERENCIA ( $ET_0$ ).....	7
3.2.3. EVAPOTRANSPIRACIÓN DEL CULTIVO BAJO CONDICIONES ESTÁNDAR ( $ET_c$ ).....	7
3.2.4. FACTORES QUE AFECTAN LA EVAPOTRANSPIRACIÓN.....	7
3.3. MÉTODOS PARA LA DETERMINACIÓN DE LA $ET_0$ .....	8
3.3.1. DATOS METEOROLÓGICOS.....	8
3.3.2. MÉTODO FAO PENMAN-MONTEITH.....	10
3.3.3. MÉTODO DEL TANQUE DE EVAPORACIÓN.....	11
3.3.4. PARÁMETROS Y CRITERIOS DE EVALUACIÓN A LA $ET_0$ .....	14
3.4. DETERMINACIÓN DE LA $ET_c$ .....	16
3.4.1. BALANCE HÍDRICO EN EL SUELO.....	16
3.4.2. MEDICIÓN DE LA HUMEDAD EN EL SUELO.....	19
3.4.3. LISÍMETROS.....	20
3.5. COEFICIENTE DE CULTIVO.....	18
3.5.1. CONCEPTO.....	18
3.5.2. IMPORTANCIA DEL COEFICIENTE DEL CULTIVO.....	22
IV. MATERIALES Y MÉTODOS.....	23
4.1. CARACTERÍSTICAS DEL ÁREA EXPERIMENTAL.....	23
4.1.1. UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO.....	23

4.1.2. CARACTERÍSTICAS DEL ÁREA EXPERIMENTAL .....	25
4.2. MATERIALES Y EQUIPOS .....	28
4.2.1. MATERIALES EN LA PREPARACIÓN DEL TERRENO .....	28
4.2.2. MATERIALES Y EQUIPOS EN LA INSTALACIÓN DEL SISTEMA DE RIEGO .....	29
4.2.3. COMPONENTES EN LA CONSTRUCCIÓN DE LOS LISÍMETROS .....	30
4.2.4. MATERIALES Y EQUIPOS PARA EL MONITOREO DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN.....	31
4.2.5. EQUIPOS PARA EL CONTROL DE LA HUMEDAD EN EL SUELO.....	31
4.3. ACTIVIDADES CULTURALES E INSTALACIÓN DEL SISTEMA DE RIEGO ..	32
4.3.1. ACTIVIDADES CULTURALES Y PREPARACIÓN DEL TERRENO .....	32
4.3.2. SISTEMA DE RIEGO.....	35
4.4. DISEÑO, CONSTRUCCIÓN E INSTALACIÓN DEL LISÍMETRO .....	39
4.5. MEDICIÓN DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN .....	49
4.5.1. TANQUE EVAPORÍMETRO .....	49
4.5.2. ESTACIÓN METEOROLÓGICA .....	51
4.6. MONITOREO DE LA HUMEDAD EN EL SUELO .....	53
4.6.1. TENSIÓMETROS.....	53
4.6.2. SENSORES WATERMARK .....	54
4.7. BALANCE HÍDRICO EN EL SUELO .....	56
4.7.1. LAMINA DE RIEGO (R) .....	56
4.7.2. PRECIPITACIÓN (P) .....	56
4.7.3. AGUA DRENADA (D) .....	57
4.7.4. VARIACIÓN DE HUMEDAD EN EL SUELO ( $\Delta$ SW).....	58
4.7.5. EVAPOTRANSPIRACIÓN DEL CULTIVO BAJO CONDICIONES ESTÁNDAR (ET <sub>c</sub> ).....	58
4.8. COEFICIENTE DE CULTIVO (K <sub>c</sub> ) .....	58
4.9. ANÁLISIS DE DATOS .....	59
V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	60
5.1. ANÁLISIS DEL AGUA Y SUELO.....	60
5.1.1. ANÁLISIS DEL AGUA.....	60
5.1.2. ANÁLISIS DEL SUELO .....	61

5.2. EVALUACIÓN DEL LISÍMETRO DE DRENAJE.....	61
5.3. CONDICIONES AMBIENTALES.....	63
5.4. EVAPOTRANSPIRACIÓN DEL CULTIVO DE REFERENCIA (ET <sub>o</sub> ).....	71
5.5. BALANCE HÍDRICO EN EL SUELO .....	74
5.5.1. RIEGO.....	74
5.5.2. PRECIPITACIÓN .....	80
5.5.3. DRENAJE .....	80
5.5.4. VARIACIÓN DE HUMEDAD EN EL SUELO.....	80
5.5.5. EVAPOTRANSPIRACIÓN DEL CULTIVO BAJO CONDICIONES ESTÁNDAR (ET <sub>c</sub> ).....	82
5.6. COEFICIENTE DE CULTIVO .....	92
VI. CONCLUSIONES.....	103
VII. RECOMENDACIONES .....	105
VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	106
IX. ANEXOS.....	110

## INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Valores referenciales del criterio de Nash – Sutcliffe.....	15
Tabla 2: Condiciones climáticas en la UNALM .....	25
Tabla 3: Primer análisis de suelo en el área experimental.....	26
Tabla 4: Segundo análisis de suelo en el área experimental.....	26
Tabla 5: Características hídricas del terreno.....	26
Tabla 6: Análisis rutinario de agua durante la investigación.....	27
Tabla 7: Análisis microbiológico de agua durante la investigación .....	28
Tabla 8: Materiales en la preparación del terreno .....	28
Tabla 9: Materiales y equipos del sistema de riego.....	29
Tabla 10: Componentes y precios de los materiales usados en la construcción de los lisímetros .....	30
Tabla 11: Materiales y equipos para el monitoreo de la evapotranspiración .....	31
Tabla 12: Equipos para el control de la humedad en el suelo .....	31
Tabla 13: Componentes y costos aproximados para un lisímetro de pesada.....	63
Tabla 14: Resumen de datos meteorológicos monitoreados durante la investigación .....	64
Tabla 15: Resumen del monitoreo de la ETo mediante el tanque evaporímetro.....	71
Tabla 16: Prueba de uniformidad en cada parcela.....	76
Tabla 17: Prueba de uniformidad en el área del lisímetro.....	79
Tabla 18: Variables registradas para la obtención del Kc .....	83
Tabla 19: Valores de Kc del césped americano a nivel mensual.....	98
Tabla 20: Límites superior e inferior considerando una aproximación al 68 por ciento para cada mes durante la investigación .....	101
Tabla 21: Coeficientes de cultivo del césped americano en cada mes de la investigación	101
Tabla 22: Ahorro de agua considerando los Kc obtenidos en la investigación y el Kc recomendado por la FAO .....	102
Tabla 23: Materiales y equipos usados en la investigación.....	120

## INDICE DE FIGURAS

Figura 1: Beneficios de las áreas verdes urbanas .....	5
Figura 2: Características del cultivo de referencia .....	10
Figura 3: Características del tanque evaporímetro clase A .....	14
Figura 4: Balance de agua en el suelo de la zona radicular .....	16
Figura 5: Modelo de lisímetro de drenaje con succión.....	18
Figura 6: Ubicación del área de estudio .....	23
Figura 7: Área experimental .....	24
Figura 8: Distribución de las parcelas experimentales .....	24
Figura 9: Trazado con cal en las áreas de los lisímetros .....	33
Figura 10: Preparación del terreno para su posterior excavación.....	33
Figura 11: Excavación de zanjas para la tubería secundaria .....	34
Figura 12: Preparación del terreno para la instalación de un lisímetro .....	34
Figura 13: Caseta de riego .....	35
Figura 14: Reservorio de agua.....	35
Figura 15: Cabezal de riego y sus componentes .....	36
Figura 16: Arco de riego y sus componentes .....	37
Figura 17: Velocidades de aplicación de la boquilla Serie 4 VAN .....	38
Figura 18: Diseño del lisímetro y componentes que lo conforman.....	39
Figura 19: Macetas de polipropileno .....	40
Figura 20: Plato de plástico con sus respectivos apoyos .....	41
Figura 21: Platos de plástico cubiertos con mala raschel 90 por ciento .....	42
Figura 22: Pegamento especial.....	42
Figura 23: Base del lisímetro con su respectiva pendiente.....	43
Figura 24: Vista externa de la unión inicial en la base del lisímetro.....	44
Figura 25: División entre la capa de grava y tierra al interior del lisímetro.....	45
Figura 26: Prueba de eficiencia del lisímetro .....	46
Figura 27: Recipiente de almacén del agua drenada .....	47
Figura 28: Instalación del lisímetro en campo.....	48
Figura 29: Vista final de los lisímetros y etapa previa al inicio de la investigación .....	48
Figura 30: Tanque evaporímetro clase A .....	49

Figura 31: Tornillo micrométrico y pozo de estabilización .....	50
Figura 32: Plataforma de madera para la instalación del tanque evaporímetro.....	50
Figura 33: Pintura anticorrosiva para el mantenimiento del tanque evaporímetro.....	51
Figura 34: Instalación de la estación meteorológica Davis .....	52
Figura 35: Consola Davis Vantage Pro 2 .....	52
Figura 36: Preparación de los tensiómetros y sensores Watermark para su instalación .....	53
Figura 37: Tensiómetros instalados en campo .....	54
Figura 38: Instalación de sensores Watermark a 10 cm. de profundidad.....	55
Figura 39: Medidor digital de humedad Watermark .....	55
Figura 40: Extracción de agua drenada utilizando una bomba de succión manual .....	57
Figura 41: Registro de la temperatura a lo largo de la investigación .....	65
Figura 42: Registro de la humedad relativa durante la investigación.....	65
Figura 43: Registro de la radiación solar durante la investigación.....	66
Figura 44: Registro de la velocidad del viento durante la investigación.....	66
Figura 45: Comportamiento de la temperatura durante el día .....	68
Figura 46: Comportamiento de la humedad relativa durante el día .....	69
Figura 47: Comportamiento de la radiación solar durante el día .....	69
Figura 48: Comportamiento del viento a 2 m de altura durante el día .....	70
Figura 49: Comportamiento de la ETo durante el día .....	70
Figura 50: Evapotranspiración registrada durante la investigación .....	73
Figura 51: Prueba de uniformidad en una parcela experimental .....	75
Figura 52: Relación entre lamina de riego y monitoreo de la válvula volumétrica.....	77
Figura 53: Determinación de la lámina de riego en un lisímetro .....	77
Figura 54: Traslape de los arcos de riego en el área ocupada por el lisímetro.....	78
Figura 55: Curvas de relación cbar y contenido de humedad en mm para la parcela A .....	81
Figura 56: Curvas de relación cbar y contenido de humedad en mm para la parcela B.....	81
Figura 57: Variables monitoreadas para el balance hídrico en el suelo en la parcela A .....	89
Figura 58: Variables monitoreadas para el balance hídrico en el suelo en la parcela B .....	90
Figura 59: Valores de ETc en función al tipo de sensor de humedad en la parcela A .....	91
Figura 60: Valores de ETc en función al tipo de sensor de humedad en la parcela B .....	91
Figura 61: Relación entre la ETc y ETo (mm) monitoreados durante la investigación .....	93

Figura 62: Coeficientes de cultivo obtenidos en la parcela A .....	95
Figura 63: Coeficientes de cultivo obtenidos en la parcela B .....	97
Figura 64: Análisis estadístico a los valores de Kc obtenidos en la investigación considerando una aproximación al 68 por ciento .....	100
Figura 65: Curvas de retención de humedad para cada tipo de sensor en la parcela A.....	128
Figura 66: Curvas de retención de humedad para cada tipo de sensor en la parcela B.....	129
Figura 67: Reconocimiento del área experimental .....	130
Figura 68: Instalación de tuberías.....	130
Figura 69: Instalación del tablero eléctrico .....	131
Figura 70: Bomba hidráulica del sistema de riego .....	131
Figura 71: Tablero eléctrico .....	132
Figura 72: Sistema de alivio de presión .....	132
Figura 73: Pluviómetro de la estación meteorológica Davis.....	133
Figura 74: Reconocimiento del tanque evaporímetro y ajuste el tornillo micrométrico ...	133
Figura 75: Llenado del tanque evaporímetro.....	134
Figura 76: Esquejes de césped para la siembra .....	134
Figura 77: Armado de los difusores de riego .....	135
Figura 78: Vista del almacén del agua drenada del lisímetro en campo .....	135
Figura 79: Instalación de los sensores de humedad.....	136
Figura 80: Medición de la profundidad de los sensores Watermark .....	136
Figura 81: Vista del agua drenada de los lisímetros.....	137
Figura 82: Mantenimientos de los filtros en el cabezal de riego .....	137
Figura 83: Muestreo de suelo .....	138
Figura 84: Muestreo de agua .....	138
Figura 85: Disposición de las parcelas demostrativas al finalizar la investigación.....	139
Figura 86: Desarrollo del césped durante la investigación en la parcela A.....	139
Figura 87: Desarrollo del césped durante la investigación en la parcela B.....	140

## INDICE DE ANEXOS

Anexo 1: Análisis de suelo .....	110
Anexo 2: Análisis de agua .....	115
Anexo 3: Materiales y equipos usados en la investigación .....	120
Anexo 4: Manual de procedimientos.....	124
Anexo 5: Curvas de retención de humedad de los sensores de humedad.....	128
Anexo 6: Fotografías tomadas durante la investigación.....	130
Anexo 7: Plano del lisímetro de drenaje.....	141
Anexo 8: Plano del sistema de riego .....	144

## RESUMEN

El césped americano (*Stenotaphrum secundatum*) está presente en 2 400 has en la ciudad de Lima. Debido a ello, el entendimiento y la determinación del requerimiento hídrico del césped en estudio es de gran interés desde el punto de vista económico y ambiental. Otro aspecto importante relacionado con los coeficientes de los cultivos viene a ser los métodos para su determinación, en este estudio se utilizaron lisímetros de drenaje de bajo costo, ajustados a las características agronómicas del césped americano. Por tanto, el objetivo principal es la determinación del coeficiente de cultivo para el césped americano utilizando lisímetros de drenaje desde el mes de marzo hasta julio en la Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM). El lisímetro de drenaje fue óptimo en base a los siguientes aspectos: economía, confiabilidad y estabilidad. Por otro lado, el monitoreo de los datos meteorológicos se realizó con una estación meteorológica automática, y adicionalmente se contó con un tanque evaporímetro clase A. El tanque facilitó la información necesaria para conocer las láminas de riego a reponer considerando un factor del tanque de 0,8 y conocer la evapotranspiración del cultivo de referencia (ET<sub>o</sub>). Así mismo se comprobó que la ET<sub>o</sub> obtenida a partir de la estación meteorológica es confiable estadísticamente con respecto a la determinada mediante el método del tanque de evaporación. Los balances hídricos en el suelo sirvieron para obtener los valores de la evapotranspiración del cultivo (ET<sub>c</sub>), y fueron menores a la unidad durante el periodo de estudio. Las variables que intervinieron en los balances fueron las siguientes: riego, precipitación, variación de humedad en el suelo y agua drenada. El resultado de la investigación determinó que el coeficiente de cultivo (K<sub>c</sub>) del césped americano fluctuó entre los valores de 0,89 a 0,62 en La Molina desde el mes de marzo hasta el mes de julio considerando una cobertura total en las parcelas experimentales.

Palabras claves: *Stenotaphrum secundatum*, coeficiente de cultivo, lisímetro de drenaje, evapotranspiración potencial, balance hídrico en el suelo.

## SUMMARY

American turfgrass (*Stenotaphrum secundatum*) is present in 2 400 ha in the city of Lima. Therefore, the relative importance of determinate and understand the water requirement in the turfgrass are of great interest to the economic and environmental point of view. Another important aspect related to the crop coefficients are the kind of method for their determination. This study uses economics drainage lysimeters that were adjusting to the agronomic characteristics of the American turfgrass. Accordingly, the main objective is to determine the crop coefficient for it using drainage lysimeters from the month of March until July in the UNALM. The drainage lysimeter was optimum based on the following terms: economy, reliability and stability. Moreover, the monitoring of the meteorological data was done with an automatic meteorological station, additionally was provided with a class A evaporation pan. The evaporation pan offered the necessary information to know the irrigation sheets to be replaced considering a factor of 0,8 to know the reference crop evapotranspiration (ET<sub>o</sub>). Also, was verified the statistical reliability of the ET<sub>o</sub> obtained from the meteorological station with regard to the value determined by the method of the evaporation pan. The soil-water balances served to obtain the crop evapotranspiration (ET<sub>c</sub>) values that were lower than a unit during the study period. The intervening variables for the balances were the following: irrigation, precipitation, variation of soil moisture and drained water. The result of this research determine that the value for the crop coefficient (K<sub>c</sub>) of the American turfgrass fluctuated between 0,89 to 0,62 in La Molina from the month of March until the month of July taking into consideration a total coverage in the experimental plots.

Keywords: *Stenotaphrum secundatum*, crop coefficient, drainage lysimeter, potential evapotranspiration, soil-water balances.

## II. INTRODUCCIÓN

Las áreas verdes urbanas brindan múltiples beneficios a la población y al medio ambiente urbano, los principales beneficios son los siguientes: favorecen la actividad física, la integración social y una mejor calidad de vida de la población; también proveen servicios ambientales como el control de la temperatura urbana, captura de carbono, mejora la calidad del aire, protección de la biodiversidad, reducción de la erosión, control de ruido (Reyes 2011; Flores 2011). Así mismo se sabe que las áreas verdes “son escasas en las grandes ciudades de América Latina, producto de la historia de urbanización precaria y explosiva de la segunda mitad del siglo XX” (Reyes 2010).

En la ciudad de Lima, se presenta una tasa de crecimiento de 1,57 por ciento, cuenta con una población aproximada de 9 886 647 habitantes (INEI 2014) y se estima que existen 3 500 hectáreas de áreas verdes urbanas (Eisenberg *et al.* 2014). De acuerdo al Plan Metropolitano de Desarrollo Urbano de Lima y Callao (IMP 2010), en nuestra capital existe una superficie de 3,1 m<sup>2</sup>/hab, cifras muy por debajo de los 9 m<sup>2</sup>/hab que recomienda la Organización Mundial de la Salud (OMS). Sin embargo, en algunos distritos como La Molina las áreas verdes por habitante están por encima al valor recomendado por la OMS (10,3 m<sup>2</sup>/hab). A nivel de Latinoamérica, Lima Metropolitana se ubica en el último puesto en el ranking de espacios verdes según el Índice de Ciudades Verdes de América Latina (Siemens 2010). Es decir, la capital de un país que apunta a un desarrollo sostenible debe considerar un equilibrio entre la naturaleza y el crecimiento económico que se da en las urbes.

La especie de césped que está presente en mayor parte en las áreas verdes existentes en nuestra capital es el césped americano (*Stenotaphrum secundatum*). Por tanto, para que la ciudad de Lima reduzca la enorme brecha existente de áreas verdes por habitante será necesario un crecimiento de dichas áreas, utilizando techos verdes u otras medidas necesarias.

La determinación de los coeficientes de los cultivos, son de suma importancia dado que al considerarlos se mejora el manejo del riego y se obtiene una calidad óptima del cultivo cosechado. Por ello, cabe mencionar que conocer el coeficiente de cultivo permite un uso racional del agua y de la energía, minimizando el desperdicio de ambos recursos y la contaminación del medio ambiente.

Por tanto, esta investigación busca determinar el requerimiento hídrico del césped americano, a través de la determinación de su coeficiente de cultivo ( $K_c$ ). Para ello se deberá tomar en cuenta la evapotranspiración del cultivo ( $ET_c$ ), obtenida en este estudio mediante un balance de agua en el suelo. El balance hídrico en el suelo comprende como principales variables las siguientes: riego, precipitación, variación de humedad y drenaje. Adicionalmente, se monitoreo la evapotranspiración potencial ( $ET_o$ ), mediante un tanque evaporímetro clase A. Los lisímetros contemplan distintos tipos, pero en esta investigación se va a utilizar el lisímetro de drenaje con succión, debido a los siguientes motivos: bajos costos en la construcción del lisímetro, rápida construcción e instalación, materiales accesibles y comunes, espacio de instalación alrededor de dos metros cuadrados. Al tener en cuenta los  $K_c$  de los cultivos se evitan riegos excesivos, pérdidas económicas y se utilizarían eficientemente los limitados recursos hídricos con los que cuenta nuestra ciudad.

La presente tesis fue realizada en el marco del proyecto “Requerimiento de agua para el césped americano (*Stenotaphrum secundatum*), utilizando riego por goteo subterráneo, en la UNALM”, financiado por la oficina de investigación de la UNALM y con ayuda del Departamento de Recursos Hídricos de la Facultad de Ingeniería Agrícola. El financiamiento del proyecto se consiguió desde el mes de octubre hasta finales del mes de diciembre del 2015, posteriormente se compraron los equipos y materiales para la investigación desde el mes de enero hasta mediados de marzo del presente año. Siendo ello el motivo por lo que la investigación fue realizada entre los meses de marzo y julio del 2016.

## **2.1. OBJETIVOS**

### **2.1.1. OBJETIVO PRINCIPAL**

Determinación del coeficiente de cultivo para el césped americano (*Stenotaphrum secundatum*), utilizando lisímetros de drenaje a partir del mes de marzo hasta julio del presente año en la UNALM.

### **2.1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

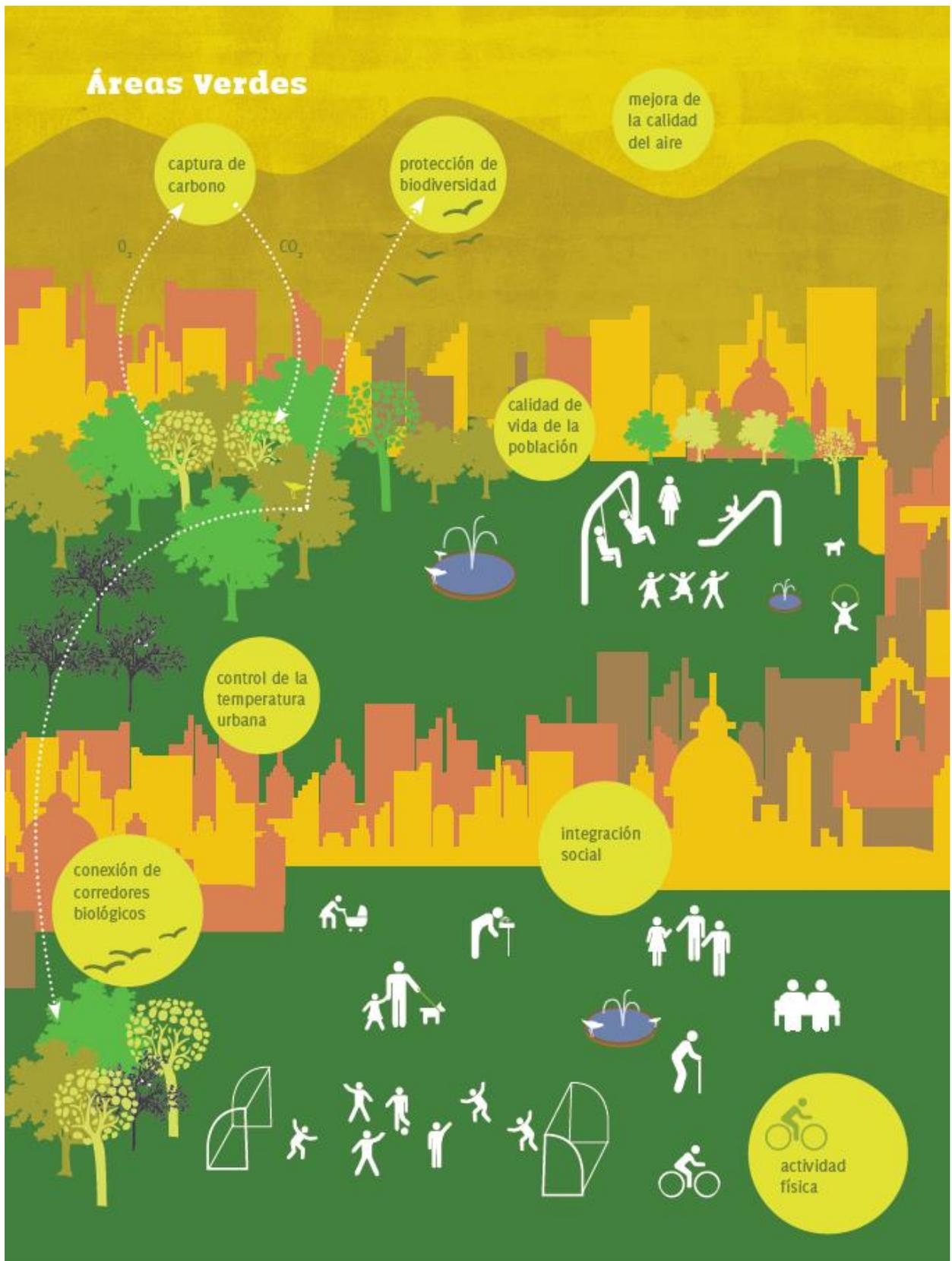
- Diseñar, construir e instalar lisímetros de drenaje utilizables para el césped.
- Monitorear variables climáticas como: radiación solar, temperatura, humedad relativa y velocidad de viento.
- Realizar balances hídricos en el suelo para poder obtener el valor del coeficiente de cultivo del césped americano del periodo de evaluación.

### **III. REVISIÓN DE LITERATURA**

#### **3.1. CÉSPEDES**

Los céspedes son plantas que forman más o menos una cobertura continua en el suelo, la cual persiste bajo condiciones de siegas regulares y un tráfico determinado. Además de ser un cultivo que genera una utilidad estética, recreativa y deportiva, que beneficia sin duda alguna a sectores productivos de nuestra economía, los céspedes son generadores de un gran número más de acciones, también todas ellas positivas de algún modo para el medio ambiente. Entre ellas podemos mencionar las siguientes: acción anti erosiva, recarga acuíferos subterráneos y adsorción de partículas de polvo en la superficie de sus hojas. Así mismo es importante mencionar que un kilómetro cuadrado de césped absorbe unos 120 Kg de dióxido de azufre cada día (Monje 2006), una hectárea de césped puede retener y fijar cerca de dos toneladas y media de dióxido de carbono en un año (The Lawn Institute 2009). Otros beneficios de los céspedes son su capacidad de amortiguar ruidos (característica que resulta importante en zonas urbanas donde la contaminación sonora es un problema) y a su vez constituyen la base de alimentación de muchas especies de animales (Parracia 2012).

Es importante mencionar que la cualidad de un césped está en función de su utilidad y apariencia. Es decir, las características de cada césped pueden variar en función a los requerimientos subjetivos de cada zona. Para el caso particular de los céspedes que se utilizan en las áreas verdes urbanas se tendrán en cuenta los beneficios de contar con dichas áreas, los cuales se presentan de forma resumida en la Figura 1.



**Figura 1: Beneficios de las áreas verdes urbanas**  
**Fuente:** Tomado de la Universidad de Chile 2010.

### **3.1.1. CÉSPED AMERICANO (*Stenotaphrum Secundatum*)**

Especie de césped muy utilizada en las áreas verdes urbanas presentes en la ciudad de Lima. Ocupa alrededor del ochenta por ciento de las áreas verdes de la capital del país (Eisenberg *et al.* 2014), debido a que su manejo no requiere muchas complicaciones y se adapta bien a climas con alta temperatura, alta humedad y de suelos salinos. Entre otras características de esta especie tenemos que es largamente estolonífera pero no posee rizomas, es una planta perenne y de rápido crecimiento perteneciente a la subfamilia *Panicoideae*. Se adapta a muchos tipos de suelos, de preferencia los ácidos, arenosos, húmedos, pero bien drenados y con moderada fertilidad (Parracia 2012).

En los medios urbanos la intensidad luminosa o sombras se reducen debido a las edificaciones, pero esta especie prospera muy bien en zonas donde se reciben alrededor de un cincuenta por ciento del total de luz solar, es decir que el *Stenotaphrum secundatum* es tolerante a zonas con sombra moderada. No obstante, cuando se desarrolla bajo sombras densas el crecimiento del césped es de forma alargada y fina, presentando una poca densidad. También se debe tener en cuenta que la resistencia a la salinidad del césped americano es moderada hasta niveles de salinidad del suelo cercanos a 15 mm hos (Monje 2006).

## **3.2. EVAPOTRANSPIRACIÓN**

### **3.2.1. CONCEPTO**

Se presenta cuando la evaporación y la transpiración ocurren simultáneamente y no hay una manera sencilla de distinguir entre estos dos procesos. Aparte de la disponibilidad de agua en los horizontes superficiales, la evaporación de un suelo cultivado es determinada principalmente por la fracción de radiación solar que llega a la superficie del suelo. Esta fracción disminuye a lo largo del ciclo del cultivo a medida que el dosel del cultivo proyecta más y más sombra sobre el suelo. En las primeras etapas del cultivo, el agua se pierde principalmente por evaporación directa del suelo, pero con el desarrollo del cultivo y finalmente cuando este cubre totalmente el suelo, la transpiración se convierte en el proceso principal. Es decir, en el momento de la siembra, casi el cien por ciento de la ET ocurre en forma de evaporación, mientras que cuando la cobertura vegetal es completa, más del noventa por ciento de la ET ocurre como transpiración. También es importante mencionar que el concepto de evapotranspiración incluye tres diferentes definiciones:

evapotranspiración del cultivo de referencia (ET<sub>o</sub>), evapotranspiración del cultivo bajo condiciones estándar (ET<sub>c</sub>) y evapotranspiración del cultivo bajo condiciones no estándar (ET<sub>c aj</sub>) (Allen *et al.* 2006). En la presente investigación se utilizaron las dos primeras definiciones.

### **3.2.2. EVAPOTRANSPIRACIÓN DEL CULTIVO DE REFERENCIA (ET<sub>o</sub>)**

Se define como la tasa de evapotranspiración de una superficie de referencia, que ocurre sin restricciones de agua. La superficie de referencia corresponde a un cultivo hipotético de pasto con características específicas, las cuales son: una altura asumida de 0,12 m, una resistencia superficial fija de 70 s/m y un albedo de 0,23. También es necesario mencionar que los únicos factores que afectan ET<sub>o</sub> son los parámetros climáticos. Por lo tanto, ET<sub>o</sub> es también un parámetro climático que puede ser calculado a partir de datos meteorológicos. Se obtiene utilizando el método FAO Penman-Monteith o con la evaporación del tanque evaporímetro Clase A (Allen *et al.* 2006).

### **3.2.3. EVAPOTRANSPIRACIÓN DEL CULTIVO BAJO CONDICIONES ESTÁNDAR (ET<sub>c</sub>)**

Se refiere a la evapotranspiración de cualquier cultivo cuando se encuentra exento de enfermedades, con buena fertilización y que se desarrolla en parcelas amplias, bajo óptimas condiciones de suelo y agua, y que alcanza la máxima producción de acuerdo a las condiciones climáticas reinantes. La cantidad de agua requerida para compensar la pérdida por evapotranspiración del cultivo se define como necesidades de agua del cultivo, por tanto, la necesidad de riego básicamente representa la diferencia entre la necesidad de agua del cultivo y la precipitación efectiva. Las diferencias en la anatomía de las hojas, características de las estomas, las propiedades aerodinámicas, e incluso el albedo, ocasionan que la evapotranspiración del cultivo difiera de la evapotranspiración del cultivo de referencia bajo las mismas condiciones climáticas (Allen *et al.* 2006).

### **3.2.4. FACTORES QUE AFECTAN LA EVAPOTRANSPIRACIÓN**

El clima, las características del cultivo, el manejo y el medio de desarrollo son factores que afectan la evapotranspiración. Dentro de las variables climáticas debemos resaltar los siguientes parámetros: radiación, temperatura del aire, humedad atmosférica y velocidad del

viento. En base a dichas variables es posible determinar la ETo mediante el método FAO Penman-Monteith. Las características del cultivo se refieren al tipo, la variedad y la etapa de desarrollo que deben ser considerados cuando se evalúa la evapotranspiración de cultivos que se desarrollan en áreas grandes y bien manejadas. Dichas características se expresan de manera numérica como un coeficiente del cultivo, que al relacionarse con la ETo se obtiene la ETc. El último factor que afecta la evapotranspiración es el manejo y el medio de desarrollo, los cuales deben ser óptimos. Adicionalmente, es necesario mantener un contenido de agua en el suelo cercano a capacidad de campo. No se utilizarán fertilizantes ni ninguna sustancia que varíe las condiciones naturales del medio donde se desarrolla el cultivo (Allen *et al.* 2006).

### **3.3. MÉTODOS PARA LA DETERMINACIÓN DE LA ETo**

#### **3.3.1. DATOS METEOROLÓGICOS**

Los datos meteorológicos se pueden monitorear por medio de una estación meteorológica. La estación cuenta con múltiples componentes, pero por los principales son los siguientes: con un anemómetro (mide la velocidad y dirección del viento), un colector de lluvia, sensores de temperatura y radiación solar. Para esta investigación se utilizó una estación meteorológica automática, donde los datos meteorológicos se registran e incluso procesan para obtener datos de evapotranspiración, para la cual emplea la ecuación Penman – Monteith (Manual Consola Davis Pro Vantage 2 2012).

**a. Radiación solar:** La radiación solar es la más importante fuente de energía en el planeta y cambia gran cantidad de agua líquida en vapor de agua, y por ende afecta el proceso de evapotranspiración. La cantidad potencial de radiación que puede llegar a una superficie que permita la evaporación o superficie evaporante, y está determinada por su localización y época del año. Debido a las diferencias en la posición del planeta y a su movimiento alrededor del sol. Cuando se determina el efecto de la radiación solar en la evapotranspiración, se debe también considerar que no toda la energía disponible se utiliza para evaporar el agua. Parte de la energía solar se utiliza para calentar la atmósfera y el suelo. Estos datos no están disponibles comúnmente en forma directa pero pueden derivarse de la radiación de onda corta (promedio) medida a partir de la duración real diaria (promedio) del sol brillante (horas por día) medida con el heliógrafo (Allen *et al.* 2006).

**b. Temperatura del aire:** La radiación solar absorbida por la atmósfera y el calor emitido por la tierra elevan la temperatura del aire. El calor sensible del aire circundante transfiere energía al cultivo y entonces ejerce un cierto control en la tasa de evapotranspiración. En un día soleado y cálido, la pérdida de agua por evapotranspiración será mayor que en un día nublado y fresco. Para la aplicación de métodos para la determinación de la evapotranspiración de referencia se requiere información de temperatura diaria (promedio) máxima y mínima en grados centígrados (°C) (Allen *et al.* 2006).

**c. Humedad del aire:** Mientras que el aporte de energía del sol y del aire circundante es la fuerza impulsora principal para la evaporación del agua, la diferencia entre la presión de vapor de agua en la superficie evapotranspirante y el aire circundante es el factor determinante para la remoción de vapor. En caso se tengan áreas bien regadas en regiones áridas secas y calientes, se sabe que consumen grandes cantidades de agua debido a la gran disponibilidad de energía y al poder de extracción de vapor de la atmósfera. En cambio, en regiones húmedas tropicales, a pesar de que el ingreso de energía es elevado, la alta humedad del aire reducirá la demanda de evapotranspiración. En este último caso, como el aire está ya cerca de saturación, puede absorber menos agua adicional y por lo tanto la tasa de evapotranspiración es más baja que en regiones áridas (Allen *et al.* 2006).

**d. Velocidad del viento:** El proceso de remoción de vapor depende en alto grado del viento y de la turbulencia del aire, los cuales transfieren grandes cantidades de aire hacia la superficie evaporante. Considerando ello, el aire sobre la superficie evaporante se satura gradualmente con vapor de agua. Si este aire no se substituye continuamente por un aire más seco, disminuye la intensidad de remoción de vapor de agua y la tasa de evapotranspiración disminuye (Allen *et al.* 2006).

La corrección para las variaciones de altura en que se mide la velocidad del viento, se realiza con la siguiente ecuación (Allen *et al.* 2006):

$$v_2 = v_z \frac{4.87}{\ln(67.8 z - 5.42)}$$

Donde:

$v_2$ : Velocidad del viento a 2 m sobre la superficie (m/s).

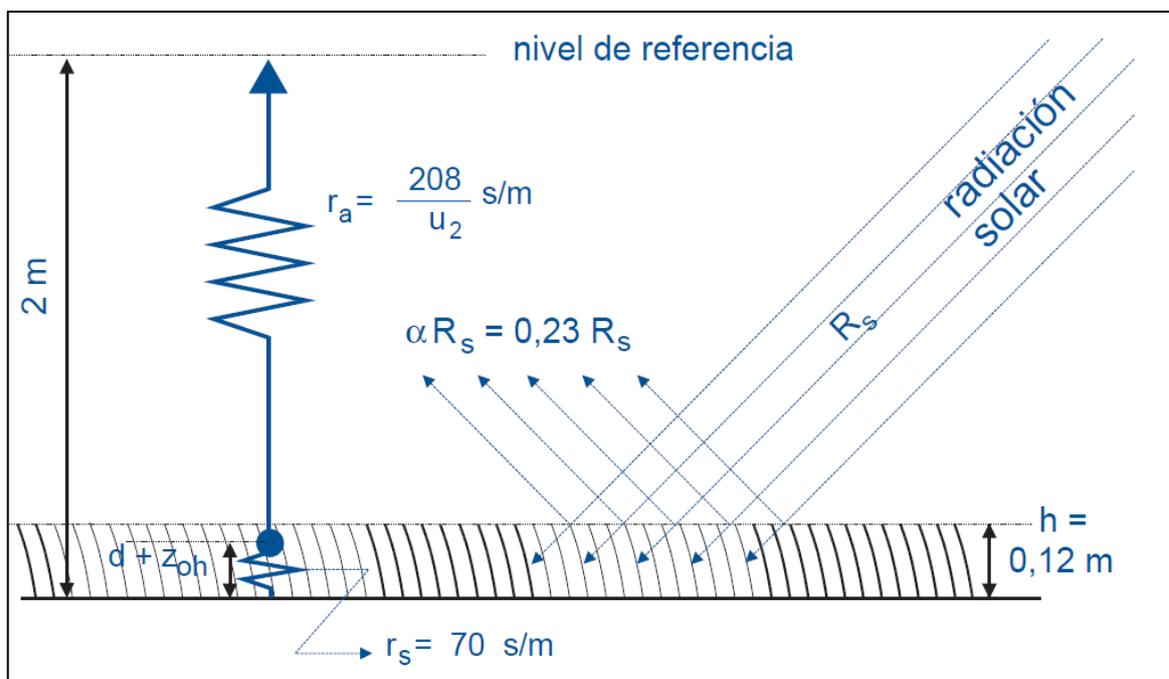
$v_z$ : Velocidad del viento medida a  $z$  m sobre la superficie (m/s).

$z$ : Altura de medición sobre la superficie (m).

### 3.3.2. MÉTODO FAO PENMAN-MONTEITH

Este método fue estandarizado por investigadores de la FAO para el cálculo de la evapotranspiración de referencia de tal manera de uniformizar los diferentes métodos que existen para determinar la  $ETo$ . Fue desarrollado haciendo uso de la definición del cultivo de referencia que es un cultivo hipotético con una altura asumida de 0,12 m, con una resistencia superficial de 70 s/m y un albedo de 0,23 (Figura 2), que representa a la evapotranspiración de una superficie extensa de pasto verde de altura uniforme, creciendo activamente y adecuadamente regado.

El cultivo o superficie de referencia fue introducido para obviar la necesidad de definir los parámetros únicos de evaporación para cada cultivo y etapa de crecimiento del mismo. El cultivo de referencia es algún tipo de pasto, como la alfalfa, que es un cultivo muy bien estudiado con respecto a sus características aerodinámicas y superficiales y es aceptado ampliamente como superficie de referencia.



**Figura 2: Características del cultivo de referencia**

**Fuente:** Tomado de Allen *et al.* 2006.

A continuación, se presenta la ecuación FAO Penman-Monteith:

$$ET_o = \frac{0,408 \Delta (R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma (1 + 0,34 u_2)}$$

Donde:

$ET_o$ : Evapotranspiración de referencia ( $\text{mm día}^{-1}$ )

$\Delta$ : Pendiente de la curva de presión de vapor ( $\text{kPa } ^\circ\text{C}^{-1}$ )

$R_n$ : Radiación neta en la superficie del cultivo ( $\text{MJ m}^{-2} \text{ día}^{-1}$ )

$G$ : Flujo del calor de suelo ( $\text{MJ m}^{-2} \text{ día}^{-1}$ )

$\gamma$ : Constante psicrométrica ( $\text{kPa } ^\circ\text{C}^{-1}$ )

$T$ : Temperatura media del aire a 2 m de altura ( $^\circ\text{C}$ )

$u_2$ : Velocidad del viento a 2 m de altura ( $\text{m s}^{-1}$ )

$e_s$ : Presión de vapor de saturación ( $\text{kPa}$ )

$e_a$ : Presión real de vapor ( $\text{kPa}$ )

La ecuación de FAO Penman-Monteith es una representación clara, precisa y simple de los factores físicos - fisiológicos que gobiernan el proceso de la evapotranspiración. La ecuación utiliza datos climáticos de radiación solar, temperatura del aire, humedad y velocidad del viento. Para asegurar la precisión del cálculo, los datos climáticos deben ser medidos o ser convertidos a 2 m de altura, sobre una superficie extensa de pasto verde, cubriendo completamente el suelo y sin limitaciones de agua. (Allen *et al.* 2006).

### 3.3.3. MÉTODO DEL TANQUE DE EVAPORACIÓN

Es uno de los métodos directos más usados para determinar la evaporación de agua. El tanque evaporímetro más usado es el llamado Clase A, que permite estimar los efectos integrados

del clima (radiación, temperatura, viento y humedad relativa), en función de la evaporación registrada de una superficie de agua libre de dimensiones estándar. Pero también existen otros modelos de tanques (cuadrados, circulares) y su instalación es muy diversa (sobre el suelo, enterrado, etc.). Entre los varios tipos de tanques, los más importantes son: el tanque GG1-3000 y el de 20 metros cuadrados de la ex Unión Soviética (Ramos 2004).

Como se mencionó el tanque más utilizado es el tipo A de EE. UU, que tiene un rendimiento estudiado en condiciones climáticas diversas y en latitudes y altitudes muy variadas. Para utilizar este tanque se debe monitorear el nivel del agua en el tanque diariamente y la evaporación se calcula como la diferencia entre los niveles observados, ajustados por cualquier precipitación medida en una estación pluviométrica. Alternativamente se puede agregar agua todos los días para empezar con un nivel fijo (Goehring, citado por Maria Bochetti 2010). En caso no se lleve un adecuado control de los niveles del agua dentro del tanque se podría generar errores de hasta 15 por ciento en caso el nivel del agua se encuentren 10 centímetros por debajo del estándar aceptado que es de entre 5 y 7,5 centímetros debajo del borde (Allen *et al.* 2006).

La medición de la evapotranspiración mediante esta metodología es afectada por los factores que intervengan en el intercambio que existe entre la fuente (superficie evaporante) y el receptor (la atmosfera). Dichos factores son los siguientes: la diferencia en la presión de vapor, temperatura, viento y radiación solar (Ramos 2004).

Un aspecto importante del método del tanque evaporímetro es que el almacenaje de calor dentro del tanque puede ser apreciable y puede causar una significativa evaporación durante la noche mientras que la mayoría de los cultivos transpiran solamente durante el día. (Allen *et al.* 2006).

La evapotranspiración se relaciona con la evaporación obtenida del tanque evaporímetro Clase A, a través de un coeficiente  $K_p$ .

$$E_{To} = K_p \cdot E$$

Donde:

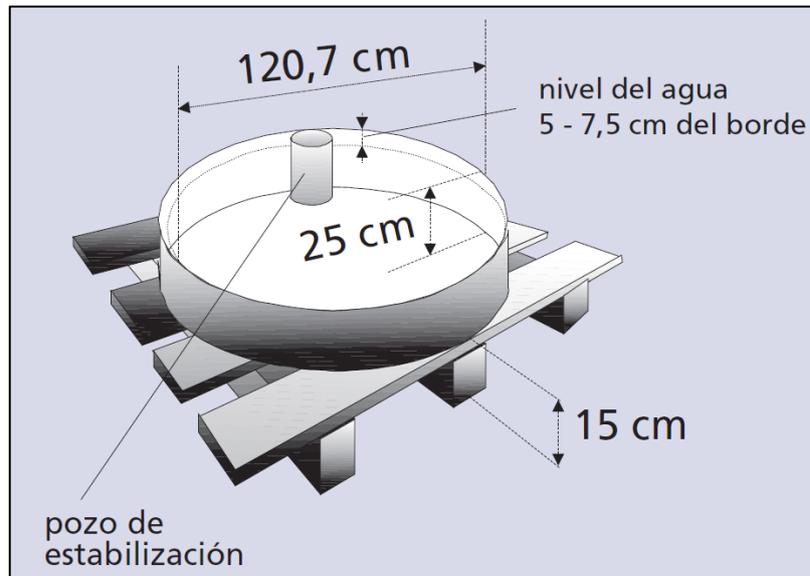
$E_{To}$ : Evapotranspiración del cultivo de referencia (mm/día).

Kp: Coeficiente empírico de tanque.

E: Evaporación libre de tanque clase A (mm/día).

El coeficiente del tanque evaporímetro depende de la cobertura del suelo donde se ubica el tanque, sus alrededores, así como el viento y las condiciones generales de humedad. La localización y el ambiente del tanque evaporímetro también tienen influencia en los resultados. De ser el caso que existan algunos ajustes propios de la instalación del tanque como pueden ser la decoloración del tanque, la oxidación de las mallas protectoras del tanque o alguna otra eventualidad se deberá afectar el Kp de acuerdo a las variaciones propias del tanque (Allen *et al.* 2006).

En lo que refiere estrictamente a la descripción del tanque de evaporación clase "A" según la FAO, 2006, el tanque clase A es circular, 120,7 cm de diámetro y 25 cm de profundidad. Está construido de hierro galvanizado o de láminas de metal (0,8 mm). El tanque se sitúa sobre una plataforma de madera en forma de reja que se encuentra a 15 cm por encima del nivel del suelo. El tanque debe estar a nivel. Una vez instalado, el tanque se llena con agua hasta 5 cm por debajo del borde y el nivel del agua no debe disminuir hasta más de 7,5 cm por debajo del borde. El agua debe ser regularmente cambiada, al menos semanalmente, para eliminar la turbidez. Si el tanque es galvanizado, debe ser pintado anualmente con pintura de aluminio. Las mallas sobre los tanques deben evitarse. Los tanques deben ser protegidos con mallas de seguridad para evitar el acceso de los animales. Las lecturas del tanque se realizan diariamente temprano en la mañana a la misma hora que se mide la precipitación. Las mediciones se realizan dentro de un área estable situada cerca del borde del tanque. El área estable la produce comúnmente un cilindro de metal, también conocido como micrómetro o pozo de estabilización (Figura 3) de cerca de 10 cm de diámetro y 20 cm de profundidad con una pequeña abertura en la base para permitir el flujo de agua (Allen *et al.* 2006).



**Figura 3: Características del tanque evaporímetro clase A**  
**Fuente:** Tomado de Allen *et al.* 2006.

### 3.3.4. PARÁMETROS Y CRITERIOS DE EVALUACIÓN A LA ET<sub>o</sub>

Para evaluar el desempeño de metodologías en comparación con un tanque evaporímetro clase A existen diferentes pruebas estadísticas. El coeficiente de correlación (R) es el más utilizado por la comunidad científica; sin embargo, R presenta algunas limitaciones que se traducen en una mala medida del rendimiento del modelo (Lavado *et al.* 2015). Por ello se realizó otras pruebas estadísticas para obtener mejor bondad de ajuste. Para ello, se utilizó tres valores estadísticos: el coeficiente de Nash – Sutcliffe, la raíz del error cuadrático medio (RMSE) y desviación media (B).

#### a. Coeficiente de Nash – Sutcliffe

Establece el grado de correspondencia entre valores observados y modelados. Obedece a la siguiente ecuación:

$$\text{Nash} = 1 - \frac{\sum_1^n (E_{\text{obs}} - E_{\text{sim}})^2}{\sum_1^n (E_{\text{obs}} - E_{\text{prom obs}})^2}$$

Donde:

$E_{\text{obs}}$ : Valores observados, es decir valores certeros (mm/día).

$E_{sim}$ : Valores estimados por un modelo u otra metodología (mm/día).

$E_{prom\ obs}$ : Promedio de valores observados (mm/día).

La interpretación estadística del coeficiente de Nash – Sutcliffe es la siguiente: valores cercanos a la unidad indican una correspondencia entre los datos observados y generados (Riquelme 2010).

Así mismo, se pueden interpretar los valores del coeficiente de Nash – Sutcliffe de acuerdo a la Tabla 1.

**Tabla 1: Valores referenciales del criterio de Nash – Sutcliffe**

Valores del coeficiente Nash - Sutcliffe	Ajuste
< 0.2	Insuficiente
0.2 – 0.4	Satisfactorio
0.4 – 0.6	Bueno
0.6 – 0.8	Muy bueno
> 0.8	Excelente

**Fuente:** Tomado de Molnar citado por Cabrera 2012.

#### **b. Raíz del error cuadrático medio (RMSE)**

La raíz del error cuadrático medio permite cuantificar la magnitud de la desviación de los valores simulados respecto a los observados (Cabrera 2012). También se define como un índice para medir las diferencias entre valores predichos por un modelo y los valores observados (Lavado *et al.* 2015). Se determina utilizando la siguiente igualdad.

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_i^n (E_{sim} - E_{obs})^2}$$

Las variables de la igualdad corresponden a los utilizados en la ecuación presentada para el coeficiente Nash – Sutcliffe.

Se interpreta de manera estadística considerando que el rango de valores que puede tomar desde 0 hasta el infinito (positivo). El valor de 0 corresponde a un ajuste perfecto mientras que valores más grandes indican un menor ajuste (Cabrera 2012). Otra consideración a tener en cuenta es que valores altos del RMSE indican una menor precisión en los modelos (Lavado *et al.* 2015).

### **c. Desviación media (B)**

La desviación media, indica la cantidad de subestimación ( $B < 0$ ) y sobreestimación ( $B > 0$ ). Valores absolutos altos de B indican una menor precisión entre los modelos (Lavado *et al.* 2015). Este parámetro se obtiene de la siguiente ecuación:

$$B = \frac{1}{n} \sum_{1}^{n} (E_{sim} - E_{obs})$$

Las variables de la igualdad corresponden a los utilizados en la ecuación presentada para el coeficiente Nash – Sutcliffe.

## **3.4. DETERMINACIÓN DE LA ETc**

Se entiende como ETc a la evapotranspiración del cultivo bajo condiciones estándar. Condiciones que se refieren a que los cultivos se desarrollen en campos extensos, bajo condiciones agronómicas excelentes y sin limitaciones de humedad en el suelo. La evapotranspiración de un cultivo será diferente a la del cultivo de referencia (ETo) en la medida en que sus características de cobertura del suelo, propiedades de la vegetación y resistencia aerodinámica difieran de las correspondientes al pasto (Allen *et al.* 2006). Para el cálculo de la ETc existen distintos métodos como la transferencia de masa, balance de energía, balance de agua en el suelo en campos cultivados o lisímetros.

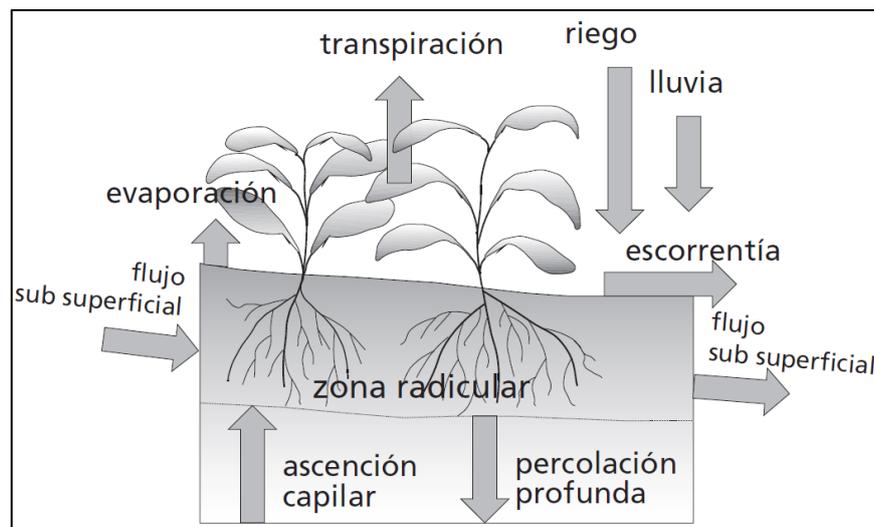
### **3.4.1. BALANCE HÍDRICO EN EL SUELO**

Este método consiste en evaluar los flujos de agua que entran y salen de la zona radicular del cultivo dentro de un determinado periodo de tiempo (Figura 4). El riego (R) y la precipitación (P) proporcionan agua a la zona radicular. Parte de R y P pueden perderse por escurrimiento superficial (ES), y percolación profunda (D) la cual eventualmente recargará

la capa freática. El agua también puede ser transportada hacia la superficie mediante capilaridad (C) desde la capa freática sub-superficial hacia la zona de raíces o ser incluso transferida horizontalmente por flujo sub-superficial hacia dentro (FSin) o fuera (FSout) de la zona radicular ( $\Delta FS$ ). Sin embargo, excepto bajo condiciones de pendientes pronunciadas, normalmente los valores de FSin y FSout son mínimos y pueden no ser considerados. La evaporación del suelo y la transpiración del cultivo pueden agotar el agua de la zona radicular. Si todos los otros flujos aparte de la evapotranspiración (ET) pueden ser evaluados, la evapotranspiración se puede deducir a partir del cambio en el contenido de agua en el suelo ( $\Delta SW$ ) a lo largo de un periodo de tiempo:

$$ET = R + P - ES - D + C \pm \Delta FS \pm \Delta SW$$

Así mismo se sabe que algunos flujos como el flujo sub-superficial, la percolación profunda y la capilaridad desde la capa freática son difíciles de medir y pueden no considerarse en periodos cortos de tiempo (Allen *et al.* 2006).



**Figura 4: Balance de agua en el suelo de la zona radicular**

**Fuente:** Tomado de Allen *et al.* 2006.

Si no se consideran todas las variables poco significativas, difíciles para medir y en caso no exista una exagerada pendiente la ecuación de balance dependerá básicamente de las siguientes variables: riego, lluvia, percolación profunda y variación de humedad en el suelo (Triana *et al.*, 2015). Por tanto, la ecuación de balance hídrico en el suelo sería la siguiente:

$$ET = R + P - D - \Delta SW$$

### **a. Riego (R)**

La variable del riego dependerá de las láminas de riego que se consideren a lo largo de la investigación. Dichas láminas están en función de las mediciones del tanque evaporímetro y las mediciones de los sensores de humedad. Aunque se debe mencionar que fundamentalmente se utilizara como referencia para la dosis y frecuencia de riego las mediciones que se realizan al tanque evaporímetro. Otro aspecto importante de esta variable es la forma en que se suministra las láminas de riego, es decir si se utiliza riego por gravedad o presurizado.

Se utilizó riego por aspersión, que está presente en cerca del 10 por ciento de las áreas de riego en todo el mundo, siendo este porcentaje más elevado en países desarrollados (Pereira 2010).

Las principales características de un difusor serie 4 - VAN son las siguientes: ajuste fácil de su ángulo de aplicación desde 0° a 330°, presión de trabajo desde 1 a 2,1 bares y se presentan variaciones en la velocidad de aplicación (mm/h) en función a la presión y el ángulo de riego (Catálogo de Rain Bird 2015).

### **b. Precipitación (P)**

Se monitorea esta variable mediante pluviómetros. Se produce por la caída directa de gotas de agua o de cristales de hielo que se funden, las gotas son mayores cuando más alta está la nube que las forma y más elevada es la humedad del aire, porque se condensa sobre ellas el vapor de las capas que van atravesando.

### **c. Agua drenada (D)**

La percolación profunda, que es el agua que drena luego de cada evento de riego o lluvia en el cultivo. Esta variable dependerá fundamentalmente del tipo de suelo, el contenido de agua en el suelo y el consumo de agua del cultivo en la zona radicular del mismo. La medición de la percolación profunda se lleva a cabo mediante lisímetros.

#### **d. Variación de humedad en el suelo (ΔSW)**

La humedad en el suelo es un factor vital para el desarrollo de los cultivos. Se realiza el riego, para restituir el agua consumida y así obtener condiciones de humedad idóneas para el crecimiento de los cultivos. La medición de la humedad se puede realizar de manera directa (forma gravimétrica) o de manera indirecta (uso de sensores de humedad).

### **3.4.2. MEDICIÓN DE LA HUMEDAD EN EL SUELO**

#### **a. Método gravimétrico**

Es un método de medición directa de la humedad. Permite determinar el contenido de agua del suelo a través de la medida de la diferencia entre el peso húmedo y el peso seco a 105 °C, en relación con el volumen de muestra. Aunque es uno de los métodos tradicionales más usados, genera impactos negativos sobre el suelo porque lo destruye impidiendo que se efectúen nuevas mediciones en el mismo punto, lo cual es una gran desventaja cuando no se tiene a disposición considerable superficie para este tipo de pruebas. Es importante mencionar que este método es básico para la calibración de los sensores de humedad que parten del principio de resistencia de agua en el suelo.

#### **b. Tensiómetros**

Indican la presión negativa que han de realizar las raíces para extraer del suelo la humedad que necesita el cultivo. No mide el porcentaje de humedad en la tierra, sino que actúa como una verdadera raíz artificial. La tierra seca extrae líquido del Irrometer produciendo un vacío parcial en el instrumento que queda reflejado en el vacuómetro. Cuanto más seca la tierra, más alto el valor registrado en el dial del vacuómetro (Catálogo de Irrometer 2012). Generalmente operan con garantía de 0 a 85 cbar, pero están calibrados de 0 a 100 cbar.

#### **c. Sensores Watermark**

Son dispositivos que funcionan con el principio de resistencia eléctrica variable. Esta resistencia es medida usando el Sensor Watermark, el cual consta de un par de electrodos de alta resistencia a la corrosión que se encajan dentro de una matriz granular. Una corriente se aplica al Watermark para obtener un valor de la resistencia. El medidor digital Watermark o

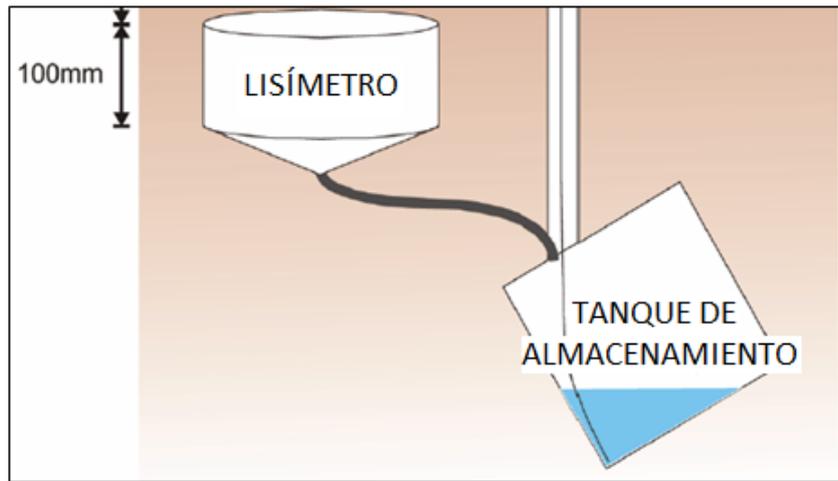
monitor correlaciona la resistencia a cbar o kilopascales (kPa) de tensión de agua del suelo. Posee un rango de medición de 0 a 239 cbar (Catálogo de Irrometer 2012).

### **3.4.3. LISÍMETROS**

Los lisímetros son dispositivos que contienen un volumen de suelo, aislado hidrológicamente del suelo circundante, en el cual resulta posible controlar y medir los diferentes términos que intervienen en el balance hídrico del suelo (Puppo *et al.* 2010).

Un requerimiento de los lisímetros es que la vegetación dentro e inmediatamente fuera del lisímetro sea idéntica, es decir que tenga la misma altura e índice de área foliar. Existen dos tipos de lisímetros los de pesada y los de drenaje. En lisímetros de pesaje de precisión, la evapotranspiración se puede obtener con una exactitud de centésimos de milímetro, donde la pérdida de agua es medida directamente por el cambio de masa y períodos pequeños tales como una hora pueden ser considerados. En lisímetros de drenaje, la evapotranspiración es medida por un período dado, restando la cantidad de agua de drenaje, recogida en el fondo de los lisímetros, de la cantidad total de agua ingresada (Allen *et al.* 2006).

Dentro de los lisímetros de drenaje, se pueden encontrar dos tipos: con o sin succión. La diferencia entre estos es que los de drenaje sin succión recolectan el agua del suelo que se filtra naturalmente hacia abajo por los suelos, es decir, el agua que se mueve por efecto de la gravedad y en los lisímetros de drenaje con succión se aplica una succión para extraer el agua del suelo despacio a través de un material poroso. Adicionalmente los lisímetros de drenaje tienen una salida en el fondo, de manera que el agua que se infiltra es recogida en un recipiente que se pueda aforar (Tuñón citado por Bochetti 2010), tal descripción se observa en la Figura 5.



**Figura 5: Modelo de lisímetro de drenaje con succión**  
**Fuente:** Adaptado de Taylor *et al.* 2006.

Teniendo claro la definición de los lisímetros se puede decir que no existe un diseño rígido y único de los lisímetros, es decir que estos serán variables de acuerdo a la investigación y a su vez dependerá de aspectos económicos, grado de precisión y disponibilidad de materiales para su construcción. Por tanto, para la evaluación de los diseños de los lisímetros se deben tomar en cuenta los siguientes aspectos (Khan *et al.* 1998):

- Estabilidad: Referido a la necesidad o no de tensores para la instalación del lisímetro, el grado de movilidad y a la facilidad de transporte del lisímetro.
- Confiabilidad: Los valores de  $E_{Tc}$  que se deriven de los lisímetros deben presentar un buen grado de confiabilidad.
- Sencillez y economía: El diseño y la construcción del lisímetro debe ser económico para su utilización en diversos escenarios y debe comprender materiales comunes en su mayoría.

### **3.5. COEFICIENTE DE CULTIVO**

#### **3.5.1. CONCEPTO**

Se trata de un coeficiente que indica el grado de desarrollo o cobertura del suelo por el cultivo del cual se busca evaluar su consumo de agua. Se combinan los efectos de la transpiración del cultivo y de la evaporación del suelo en un coeficiente único  $K_c$ , tal que integre las diferencias en la evaporación en el suelo y en la tasa de transpiración del cultivo, entre el

cultivo y la superficie del pasto de referencia. Es una expresión del efecto promedio en el tiempo de la evapotranspiración del cultivo (Vásquez 1992; Allen *et al.* 2006).

También se define al coeficiente de cultivo como un factor que refleja aspectos biológicos, propios del cada cultivo. Dentro de estos factores se encuentra, la altura de las plantas, el comportamiento estomático, el área foliar, y el sistema de conducción. Estos dos últimos factores se reflejan en el porcentaje de cobertura que produce el cultivo, que es una imagen del grado de intercepción de radiación solar que realiza la planta. Se puede determinar los coeficientes de cultivos ( $K_c$ ) dividiendo la evapotranspiración del cultivo ( $ET_c$ ), proporcionada por los lisímetros, por la evapotranspiración de referencia ( $ET_o$ ) obtenida del tanque evaporímetro o de la ecuación FAO Penman – Monteith (Requena *et al.* 2009).

### **3.5.2. IMPORTANCIA DEL COEFICIENTE DEL CULTIVO**

Los coeficientes de los cultivos se obtienen en forma experimental y resumen el comportamiento de los cultivos en el sistema suelo - atmosfera, e integran factores tales como las características propias de la especie, etapas del desarrollo fenológico, condiciones climáticas predominantes. El ritmo de desarrollo de la planta es importante, ya que el  $K_c$  varía a través del ciclo fenológico, tomando los mayores valores cuando el cultivo alcanza su máximo índice de área transpirante (Rodríguez 2012). Para el caso de las gramíneas el  $K_c$  tendrá variaciones en función a las condiciones climáticas principalmente y el tipo de suelo, porque no se diferencian cambios notorios en el desarrollo fenológico del cultivo (Wherley *et al.* 2015).

El determinar los  $K_c$  de los cultivos, son de suma importancia para brindar un manejo correcto del riego y así apuntar a rendimientos altos, con estabilidad entre años, una calidad óptima del producto cosechado, haciendo posible un uso racional del agua y de la energía, minimizando el desperdicio de ambos recursos y la contaminación del medio ambiente. Asimismo, este dato es fundamental para un correcto diseño de los sistemas de riego (Rodríguez 2012).

## IV. MATERIALES Y MÉTODOS

### 4.1. CARACTERÍSTICAS DEL ÁREA EXPERIMENTAL

#### 4.1.1. UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

El proyecto se llevó a cabo en la parcela experimental perteneciente a la Facultad de Ingeniería Agrícola de la Universidad Nacional Agraria La Molina (Figura 6 y Figura 7).

**Departamento:** Lima

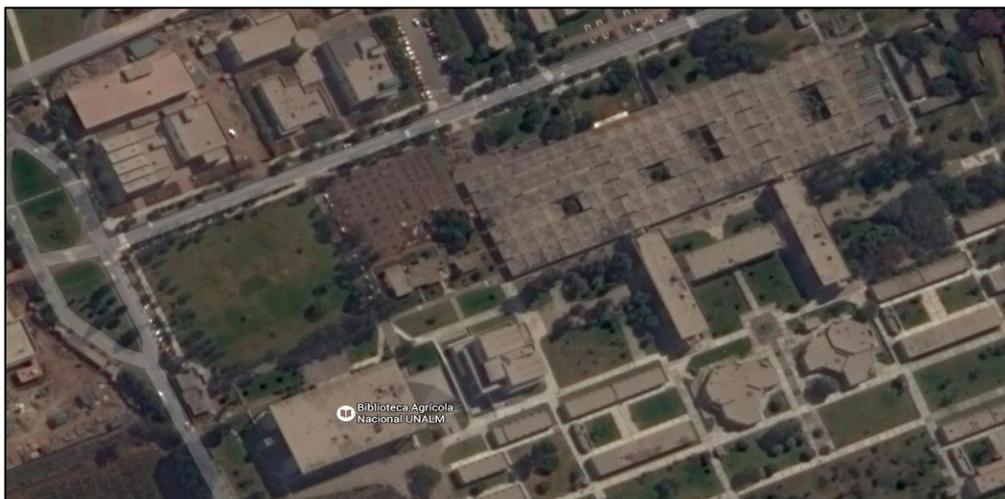
**Provincia:** Lima

**Distrito:** La Molina

**Longitud:** 12°4'55.63"

**Latitud:** 76° 56' 21.42"

**Altitud:** 234 m.s.n.m.



**Figura 6: Ubicación del área de estudio**

**Fuente:** Tomado de Google, 2011.



**Figura 7: Área experimental**

En la Figura 8 se muestra la distribución de las dos parcelas experimentales.



**Figura 8: Distribución de las parcelas experimentales**

#### 4.1.2. CARACTERÍSTICAS DEL ÁREA EXPERIMENTAL

De acuerdo a los registros históricos monitoreados entre los años 2000 y 2010 por la estación Von Humboldt (Tabla 2), se tienen los siguientes datos:

**Tabla 2: Condiciones climáticas en la UNALM**

<b>Mes</b>	<b>T. máxima (°C)</b>	<b>T. mínima (°C)</b>	<b>T. promedio (°C)</b>	<b>Humedad rel. (%)</b>	<b>Vel. de viento (m/s)</b>	<b>Horas de sol diario</b>	<b>ETo (mm/día)</b>
Enero	27.41	19.44	23.42	79.60	1.26	5.32	3.71
Febrero	28.92	20.33	24.63	75.85	1.26	5.95	4.09
Marzo	28.65	19.75	24.20	75.63	1.15	7.02	4.16
Abril	26.86	17.75	22.30	79.07	1.11	7.62	3.72
Mayo	23.27	15.50	19.39	83.24	0.92	5.62	2.65
Junio	19.89	14.20	17.05	87.63	0.77	2.66	1.79
Julio	18.91	14.16	16.53	88.70	0.85	2.04	1.69
Agosto	18.31	13.92	16.11	88.53	0.88	2.40	1.89
Setiembre	19.98	13.95	16.96	88.07	0.99	3.23	2.33
Octubre	21.18	14.52	17.85	86.09	1.08	4.37	2.85
Noviembre	22.69	15.67	19.18	84.25	1.10	5.01	3.16
Diciembre	25.06	17.41	21.23	82.74	1.14	4.89	3.32
Promedio	23.43	16.38	19.90	83.28	1.04	4.68	2.95

Cabe resaltar que en la Tabla 2 solo se hace mención de las variables climáticas más importantes para el desarrollo de la investigación.

Por otro lado, también se realizaron muestreos de suelo y de agua en el área experimental donde se instalaron los lisímetros. Las muestras de suelo y agua se analizaron en el Laboratorio de Agua, Suelo, Medio Ambiente y Fertirriego de la Facultad de Ingeniería Agrícola. En el caso de las muestras de agua se realizaron unos análisis adicionales en el Laboratorio de Ecología Microbiana y Biotecnología “Marino Tabusso” de la UNALM.

### a. Características del suelo

La caracterización del suelo completa se adjunta como parte del Anexo 1 para mayor información, en la Tabla 3 se aprecia el resumen de los resultados.

**Tabla 3: Primer análisis de suelo en el área experimental**

<b>CE dS/m Relación 1:1</b>	<b>pH Relación 1:1</b>	<b>M.O. %</b>	<b>P Ppm</b>	<b>K ppm</b>	<b>CaCO<sub>3</sub> %</b>
0.80	8.04	1.99	36.09	242.00	3.79

De igual manera se realizaron dos muestreos más el día 7 de julio del año en curso, con fines de monitorear el suelo (Tabla 4). Mayor información de estos resultados se encuentra en el Anexo 1.

**Tabla 4: Segundo análisis de suelo en el área experimental**

<b>Lisímetro</b>	<b>CE dS/m Relación 1:1</b>	<b>pH Relación 1:1</b>	<b>M.O. %</b>	<b>P ppm</b>	<b>K ppm</b>	<b>CaCO<sub>3</sub> %</b>
A	0.73	8.15	2.05	12.03	248.00	3.52
B	0.85	7.99	1.84	12.03	254.00	2.46

Las características hídricas del terreno se presentan en la Tabla 5.

**Tabla 5: Características hídricas del terreno**

<b>Características hídricas</b>	<b>Valor (% volumen)</b>
Capacidad de campo	21
Punto de Marchitez Permanente	11

## b. Características del agua

La fuente de la cual deriva el agua almacenada es el reservorio del sistema de riego de las áreas verdes de la UNALM. En la Tabla 6 se muestran los resultados obtenidos de los análisis realizados en el Laboratorio de Agua, Suelo, Medio Ambiente y Fertirriego de la Facultad de Ingeniería Agrícola. Para mayor detalle de los resultados del análisis de las muestras revisar los Anexos 2.

**Tabla 6: Análisis rutinario de agua durante la investigación**

<b>Indicadores</b>	<b>Muestra 1*</b>	<b>Muestra 2**</b>
CE (dS/m)	0.49	0.68
pH	7.24	7.31
Calcio (meq/l)	3.42	4.66
Magnesio (meq/l)	0.52	0.76
Sodio (meq/l)	0.85	0.83
Potasio (meq/l)	0.10	0.17
<b>Suma de cationes</b>	4.89	6.42
Cloruro (meq/l)	0.84	1.17
Sulfato (meq/l)	2.36	3.26
Bicarbonato (meq/l)	1.62	2.17
Nitratos (meq/l)	0.00	0.02
Carbonatos (meq/l)	0.00	0.00
<b>Suma de aniones</b>	4.83	6.62
SAR	0.6	0.5
Clasificación	C2-S1	C2-S1
Boro (ppm)	0.31	0.26
Turbidez (NTU)	5.78	103.00
Carbonatos (mgCaCO <sub>3</sub> /L)	0.00	0.00
Sólidos suspendidos (mg/L)	6.84	110.00
DBO <sub>5</sub> (mgO <sub>2</sub> /L)	52.35	10.00
DQO (mgO <sub>2</sub> /L)	30.00	27.91
Dureza total (mgCaCO <sub>3</sub> /L)	196.65	220.45

(\*) La muestra 1 se analizó el día 13 de abril del 2016.

(\*\*) La muestra 2 se analizó el día 24 de junio del 2016.

Adicionalmente se realizó un muestreo de agua para ejecutar los análisis microbiológicos en el Laboratorio de Ecología Microbiana y Biotecnología “Marino Tabusso” de la UNALM.

En la Tabla 7 se muestra un resumen de dicho resultado, para mayor referencia revisar los Anexos 2.

**Tabla 7: Análisis microbiológico de agua durante la investigación**

<b>Análisis microbiológico</b>	<b>Muestra*</b>
Enumeración de coliformes totales (NMP/100 ml)	49
Enumeración de coliformes fecales (NMP/100 ml)	6.1
Enumeración de <i>Escherichia coli</i> (NMP/100 ml)	4.0

(\*) La muestra se analizó el día 15 de junio del 2016.

## **4.2. MATERIALES Y EQUIPOS**

Se especificarán las herramientas, instalaciones e insumos que se utilizaron, pero se dará mayor énfasis a los materiales y equipos utilizados.

### **4.2.1. MATERIALES EN LA PREPARACIÓN DEL TERRENO**

Los materiales para la preparación del terreno se muestran en la Tabla 8.

**Tabla 8: Materiales en la preparación del terreno**

<b>Materiales*</b>	<b>Cantidad</b>
Pico	1
Lampa	1
Wincha de mano	1
Wincha métrica	1
Cal	5 kg
Libreta de campo	1

(\*) Para mayor información revisar Anexos 3.

#### **4.2.2. MATERIALES Y EQUIPOS EN LA INSTALACIÓN DEL SISTEMA DE RIEGO**

Los materiales y equipos en la instalación del sistema de riego se muestran en la Tabla 9.

**Tabla 9: Materiales y equipos del sistema de riego**

<b>Materiales y equipos*</b>	<b>Cantidad</b>
Electrobomba	1
Tablero eléctrico	1
Válvulas plason	2
Válvulas esféricas	1
Válvulas check horizontal	2
Filtros de anillo	2
Válvulas volumétricas	2
Manómetros	2
Puntos de toma de presión	4
Tanque Eternit de 1100 L.	1
Difusores Rain Bird	8

(\*) Para mayor información revisar Anexos 3.

### 4.2.3. COMPONENTES EN LA CONSTRUCCIÓN DE LOS LISÍMETROS

Los componentes para la construcción de los lisímetros se muestran en la Tabla 10.

**Tabla 10: Componentes y precios de los materiales usados en la construcción de los lisímetros**

Componentes	Cantidad	Precio (S/)
Maceta de polipropileno para lisímetro	2	483.00
Maceta con tapa base del lisímetro	2	94.00
Grava de 2mm para lisímetro bolsa x 40kg	1	60.00
Recipiente para medir volumen 45x30x80cm	2	40.00
Pegamento Sikaflex 11 FC	1	27.30
6 kg de cemento*	1	20.00
Malla Raschell verde 90% 4.2 m x 100 m	1	19.90
Bomba de succión manual	1	182.20
Adaptadores de bomba manual	2	20.00
Conector inicial	2	6.00
Tubo de 2"*	1	15.00
Moldimix	2	10.00
Manguera de 12 mm (succión)*	1	5.00
Manguera de 16 mm*	1	10.00
Plástico de seda 1m x 1.5 m.	1	10.00
	<b>Total</b>	<b>1002.40</b>

(\*) Valores referenciales porque se consiguió de una mayor cantidad de materiales, es decir de una bolsa de cemento, de 20 metros de mangueras ciegas de 16 mm, etc.

Es importante indicar el precio de los componentes con los cuales se diseñaron y construyeron los lisímetros, porque los costos en su elaboración serán considerados para la evaluación de los lisímetros. Para mayor información revisar el Anexo 3.

#### 4.2.4. MATERIALES Y EQUIPOS PARA EL MONITOREO DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN

Los materiales y equipos para el control de la evapotranspiración se muestran en la Tabla 11.

**Tabla 11: Materiales y equipos para el monitoreo de la evapotranspiración**

<b>Materiales y equipos*</b>	<b>Cantidad</b>
Malla galvanizada de 1/2" 0.95 m	6
Tanque evaporímetro clase A	1
Micrómetro o pozo de estabilización	1
Estación meteorológica automática Davis, modelo Vantage Pro 2	1
Consola pantalla LCD (90 x 150 mm)	1
Plataforma de apoyo del tanque evaporímetro	1
Pintura anticorrosiva	2

(\*) Solo se realizó la compra de la malla galvanizada. Los otros materiales y equipos los facilitado el Departamento de Recursos Hídricos de la FIA.

#### 4.2.5. EQUIPOS PARA EL CONTROL DE LA HUMEDAD EN EL SUELO

Los equipos para el control de la humedad en el suelo se muestran en la Tabla 12.

**Tabla 12: Equipos para el control de la humedad en el suelo**

<b>Equipos*</b>	<b>Cantidad</b>
Tensiómetros SR-212, 30 cm, Irrometer	2
Sensores de humedad del suelo Watermark	4
Medidor digital Watermark**	1

(\*) Mayor información en el anexo 3. (\*\*) El medidor digital Watermark fue proporcionado por el Laboratorio de Riego y Drenaje de la FIA, UNALM.

### **4.3. ACTIVIDADES CULTURALES E INSTALACIÓN DEL SISTEMA DE RIEGO**

#### **4.3.1. ACTIVIDADES CULTURALES Y PREPARACIÓN DEL TERRENO**

Entre los meses de enero y febrero se obtuvieron los materiales y equipos necesarios para el estudio. Como todo estudio referido al agro, se inició preparando el terreno.

Como actividad preliminar a la preparación de terreno se realizó el trazado con cal de cada elemento del estudio, como las líneas de tubería principal y secundaria, la delimitación del área de la caseta de riego y la loseta para el tanque (reservorio de agua para el sistema de riego), delimitación de las áreas de los lisímetros, y los puntos para la posterior colocación de los postes del cerco de protección. En la Figura 9 podemos notar el trazado con cal mencionado.

Una vez delimitadas las áreas de trabajo, se inició con la preparación del terreno para la excavación. Para ello se cubrió con agua las zanjas y las áreas de los lisímetros. En la Figura 10 podemos notar como se realizó esta preparación del terreno. Luego de unos días se procedió a la excavación de las zanjas para las tuberías considerando un ancho de 30 cm y una profundidad de 25 cm. (Figura 11). De igual forma se cavaron las áreas donde se ubicaron los lisímetros (Figura 12) y los postes para el cerco de protección. El área de excavación para cada uno de los lisímetros fue de medio metro cuadrado y una profundidad de 1 m. Teniendo en cuenta los siguientes aspectos para su ubicación: que no existan áreas con sombras cercanas, el menor tránsito de personas posible y una adecuada separación entre los lisímetros por motivos propios del riego por aspersión.



**Figura 9: Trazado con cal en las áreas de los lisímetros**



**Figura 10: Preparación del terreno para su posterior excavación**



**Figura 11: Excavación de zanjas para la tubería secundaria**



**Figura 12: Preparación del terreno para la instalación de un lisímetro**

### 4.3.2. SISTEMA DE RIEGO

El riego que se utilizó fue por aspersión. Por tanto, fue necesario una fuente de energía eléctrica y un reservorio de agua. Los componentes del riego fueron ubicados en la caseta de riego, la cual se muestra en la Figura 13 y Figura 14. También se debe mencionar que en el Anexo 7 se adjuntan los planos del sistema de riego.



Figura 13: Caseta de riego



Figura 14: Reservorio de agua

Interiormente en la caseta se podía apreciar los siguientes componentes del sistema de riego: una bomba hidráulica, filtros de anillo, puntos de toma de presión, una válvula volumétrica, dos válvulas de check, un sistema de reducción de presión y una válvula de globo para permitir el paso del agua a las parcelas experimentales. Los componentes mencionados se presentan en la Figura 15.



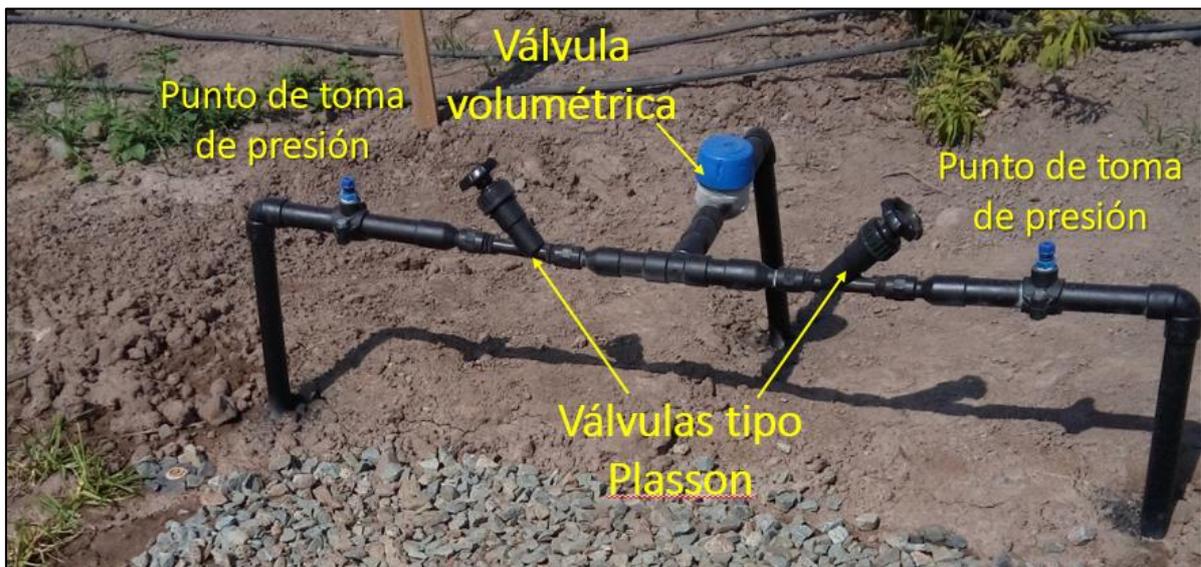
**Figura 15: Cabezal de riego y sus componentes**

La presión de trabajo fue de 15 m.c.a. en las parcelas experimentales. Por lo cual, se vio necesario un sistema de alivio de presión para que las láminas en cada riego sean las mismas. De no haberse realizado el sistema de regulación de presión los caudales iban a variar de acuerdo a la variación de presión y no se podría monitorear correctamente las láminas de riego.

Así mismo en la Figura 15 se aprecian los puntos de toma de presión en el cabezal de riego. Los cuales fueron ubicados antes y después de los filtros de anillos para la limpieza de los

filtros. Por tanto, en caso la diferencia de las mediciones de presión ascendiera a 2 m.c.a. se debía realizar a limpieza de los mismos. Pero por fines de seguridad y para velar que la investigación no se viera afectada por una baja calidad de agua se realizaron las limpiezas de los filtros cada 15 días. El cabezal de riego también contó con una válvula volumétrica para llevar el control del volumen de agua que se aplicaba en cada evento de riego durante la investigación. Su función era para llevar un registro con respecto a las láminas calculadas en función a la demanda hídrica en función a la ETo.

De similar manera que el cabezal de riego, el arco de riego que se diseñó e instaló en la investigación precisó de puntos de toma de presión, unas válvulas de tipo Plasson y una válvula volumétrica. En puntos de toma de presión se verificaba que la presión de trabajo en las parcelas experimentales sea de 15 m.c.a. Las válvulas de tipo Plasson funcionaban para separar el riego entre las parcelas cuando era necesario. Finalmente, la válvula volumétrica para el control de los volúmenes de agua que se daban en cada riego, los componentes se identifican en la Figura 16.



**Figura 16: Arco de riego y sus componentes**

Una vez instalado el cabezal y el arco de riego se pasó a plantear los últimos componentes del sistema de riego. Se utilizaron difusores Rain Bird serie 1800 de 1/2" boquilla regulable 4 VAN, porque su radio de riego es de cuatro pies o 1.2 m. con una posibilidad de regulación de menos 25 por ciento, es decir entre 0.9 a 1.2 m. de alcance. También es importante mencionar que estos difusores tienen la característica de regular el ángulo de riego y de acuerdo a ello identificar la velocidad de aplicación de los emisores de riego en función a la

presión de trabajo del sistema de riego. A continuación, se muestran las velocidades de aplicación del difusor especificado de acuerdo al catálogo de la empresa Rain Bird (Figura 17).

Serie 4 VAN			SIST. MÉTRICO			
Trayectoria de 0°						
Boquilla	Presión bares	Radio m	Caudal m³/h	Caudal l/m	Precip mm/h	Precip mm/h
	1.0	0.9	0.14	2.3	189	218
	1.5	1.0	0.17	2.8	183	215
	2.0	1.2	0.20	3.3	152	176
	2.1	1.2	0.20	3.3	152	176
	1.0	0.9	0.12	2.0	198	229
	1.5	1.0	0.14	2.3	187	216
	2.0	1.2	0.16	2.7	148	171
	2.1	1.2	0.17	2.8	157	181
	1.0	0.9	0.07	1.2	173	200
	1.5	1.0	0.09	1.5	180	208
	2.0	1.2	0.10	1.7	139	161
	2.1	1.2	0.10	1.7	139	161
	1.0	0.9	0.05	0.8	247	285
	1.5	1.0	0.06	0.9	240	277
	2.0	1.2	0.06	1.1	167	193
	2.1	1.2	0.07	1.1	194	224

Los datos de rendimiento se tomaron en condiciones de cero viento  
**Nota:** Especifique el cuerpo del aspersor y las boquillas por separado.  
**Nota:** No se recomienda una reducción del radio que supere el 25% del alcance normal de la boquilla

**Figura 17: Velocidades de aplicación de la boquilla Serie 4 VAN**

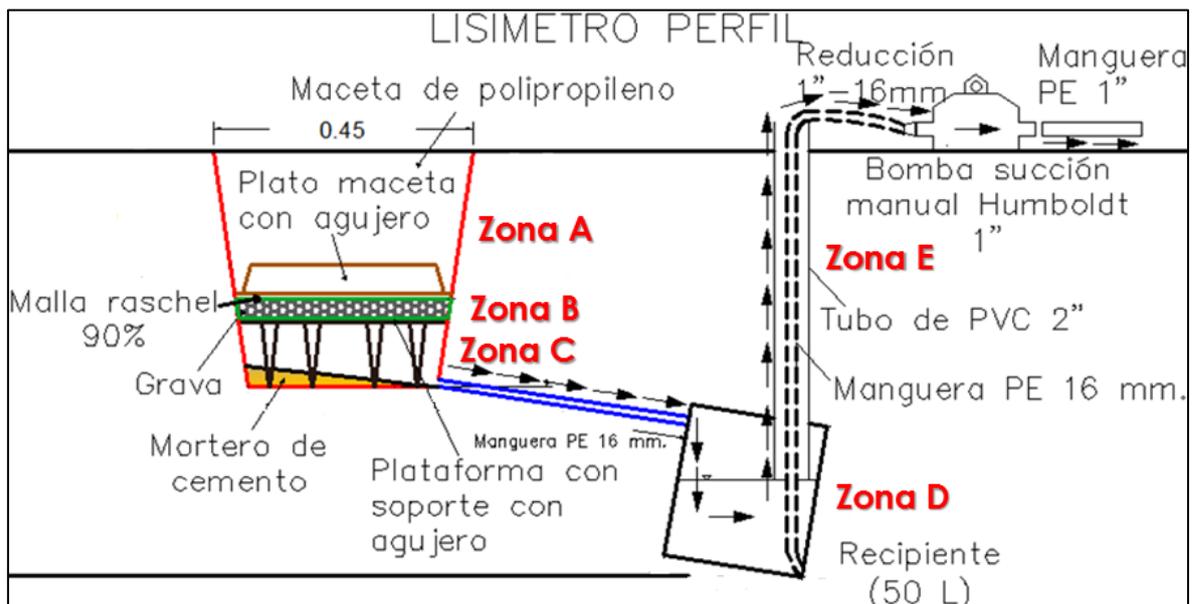
**Fuente:** Tomado de Catálogo de Rain Bird 2015.

En la Figura 17 se señala las características que tiene la boquilla serie 4 VAN cuando el ángulo de riego es de 90° y la presión de trabajo de 15 m.c.a. Otra característica que es importante mencionar es la velocidad de aplicación del emisor de riego porque es sumamente esencial para determinar la lámina y el tiempo de riego que se brindaron en la investigación.

Lo valores mencionados en la Figura 17 son referenciales, porque las condiciones climatológicas donde se desarrolló el estudio es diferente al medio en el cual se realizaron las pruebas para obtener la información que obtuvo la empresa Rain Bird.

#### 4.4. DISEÑO, CONSTRUCCIÓN E INSTALACIÓN DEL LISÍMETRO

El lisímetro utilizado fue el de drenaje con succión. Para su diseño se contempló que los materiales que sean económicos, pero sin dejar de considerar las exigencias técnicas que el dispositivo implica. El planteamiento del lisímetro se puede apreciar con mayor detalle en el Anexo 7 y en la Figura 18 se muestra el lisímetro.



**Figura 18: Diseño del lisímetro y componentes que lo conforman**

En la Figura 18 se observan las partes del lisímetro, las cuales son las siguientes:

- Zona de desarrollo radicular (A): se dio el desarrollo radicular de los cultivos. Es la zona superficial del volumen de control, se instalaron los sensores de humedad y se rellenó con suelo del área de trabajo.
- Zona de filtrado (B): se filtraba el agua proveniente de la zona de desarrollo radicular. Se utilizó grava de 2 mm de diámetro.
- Zona de recepción del agua drenada (C): se recolectó el agua proveniente de la zona de filtrado para trasladarlo al depósito del agua drenada. Se consideró una pendiente hecha con mortero de cemento para su traslado al depósito del agua drenada.
- Depósito del agua drenada (D): se acumuló el agua proveniente del volumen de control. El traslado del agua de la zona C hacia el depósito fue mediante una

manguera de polietileno de 16 mm. El depósito considero una inclinación de 45° con respecto al suelo para que toda el agua se acopie en un solo punto.

- Sistema de succión (E): se realizó la extracción del agua drenada del volumen de control mediante el uso de la una bomba manual de succión. Adicionalmente, contempló una tubería de 2” de diámetro para la succión del agua almacenada en el depósito de agua drenada.

Una vez definida cada zona del lisímetro, a continuación, se detallará el procedimiento constructivo del lisímetro y la importancia de cada componente que lo conforma.

La maceta de polipropileno (Figura 19) fue la base del diseño del volumen de control, conformado por las zonas A, B y C. La maceta que se seleccionó tenía una particularidad, la cual era que incluía un plato de plástico con sus respectivos apoyos (Figura 20) para dividir las zonas B y C.



**Figura 19: Macetas de polipropileno**



**Figura 20: Plato de plástico con sus respectivos apoyos**

Considerando que al interior de la maceta se debían diferenciar tres zonas, faltaba una división más para cumplir con el diseño teórico presentado en la Figura 18. Por ello, se utilizó un plato de plástico (Figura 21), cuya función fue la de dividir las zonas A y B. Dicho plato, fue perforado en distintos puntos considerando un diámetro de 1/2" con la finalidad de no interrumpir el paso del agua, procedimiento que no fue necesario en el plato que venía con la maceta de polipropileno porque este último ya contaba con perforaciones (Figura 20). Dichas perforaciones presentaron una dificultad, la cual era que permitían el paso de las gravas y ello tampoco era aceptable para el funcionamiento del lisímetro. Por lo tanto, se recubrió ambos platos con malla raschel al 90 (Figura 21) por ciento con ayuda de un pegamento especial (Figura 22) para reducir el paso de la tierra en el plato de la maceta de plástico y evitar el descenso de la grava a través del plato con apoyos de la maceta de polipropileno.



**Figura 21: Platos de plástico cubiertos con mala raschel 90 por ciento**



**Figura 22: Pegamento especial**

Para que los platos estén listos se debió esperar alrededor de un día para que el pegamento funcione de manera correcta. En dicho transcurso de tiempo, se procedió a formar la pendiente en la zona C (Figura 23). Con el objetivo de que toda el agua drenada se dirija a un solo punto y así poder cuantificar toda el agua que descienda interiormente en el lisímetro.

Se utilizó mortero de cemento debido a su fácil manipulación y bajo costo. El tiempo de secado que se le dio al mortero fue de un día. Pasado las veinticuatro horas se cubrió el mortero con plástico de seda, con el fin de mejorar más la pendiente, brindar mayor durabilidad a la pendiente y evitar que el mortero absorba humedad. Para cubrir el plástico al mortero se utilizó el pegamento mostrado en la Figura 22, y se esperó otro día para asegurarse de un correcto pegado entre ambos componentes.



**Figura 23: Base del lisímetro con su respectiva pendiente**

Una vez lista la base del volumen de control, se realizó una perforación en la base de la maceta (Figura 24), con el fin de instalar una manguera de 16 mm de polietileno (PE) para transportar el agua drenada de la zona C hacia la zona D. Se utilizaron uniones iniciales de mangueras PE de 16 mm.



**Figura 24: Vista externa de la unión inicial en la base del lisímetro**

Al tener los platos secos y listos para su instalación, se colocaron en la maceta de polipropileno considerando el siguiente orden:

- Se instaló el plato que venía incluido con la compra de la maceta de polipropileno (Figura 20). Se modificó la altura de los apoyos con los que contaba el plato porque se había implementado la pendiente (Figura 23).
- Se colocó una capa de grava de 2 mm. En dicho espacio se realizaba el lavado de la solución agua – suelo que descendía de la zona A del volumen de control.
- Se dividió las zonas A y B del lisímetro con el plato de plástico (Figura 25).



**Figura 25: División entre la capa de grava y tierra al interior del lisímetro**

Terminada la construcción del volumen de control se realizó una prueba de eficiencia (Figura 26). La cual consistió en traer suelo de un lugar muy cercano en donde se iban a instalar los lisímetros, colocar dicho suelo al interior del lisímetro y simular condiciones de saturación. La prueba consistió en adicionar 4 litros al suelo en condiciones de saturación. Luego se esperó alrededor de seis horas para que el agua pueda drenar y salir por el punto de drenaje del volumen de control, y fue entonces cuando se cuantificó toda el agua drenada. Se midió 3,87 litros dándonos como resultado una eficiencia del lisímetro de alrededor del 97 por ciento.



**Figura 26: Prueba de eficiencia del lisímetro**

Al tenerse resultados positivos del volumen de control, se construyó el depósito para el agua drenada. Para ello según la Figura 18 debía contarse con un recipiente especial para que cumpla dicha función. Dicho recipiente se realizó considerando dos componentes: un bidón de 40 L y una tubería de 2" de diámetro. La tubería tenía que atravesar una parte del bidón y para lo cual se debía realizar una perforación. Pero adicionalmente se realizó un agujero en la tapa del bidón, para que por ahí la manguera de 16 mm pueda conectar al lisímetro con el recipiente de almacén de agua drenada. El resultado del acople de la tubería de 2" con el bidón se muestra en la Figura 27.



**Figura 27: Recipiente de almacén del agua drenada**

Finalmente, en lo que corresponde al diseño, construcción e instalación del lisímetro, se llevaron el volumen de control y el recipiente de almacén del agua drenada al lugar designado para su instalación. En dicho espacio, se procedió inicialmente a la colocación del recipiente de almacén y luego al lisímetro, porque de esa manera fue más sencillo la manipulación de la manguera que unía a dichos componentes. Es importante, señalar que el recipiente de almacén de agua quedo con una inclinación aproximada de  $45^\circ$  con respecto al suelo para asegurarse que toda el agua se acopie en un solo lugar y pueda ser bombeada fácilmente (Figura 28).



**Figura 28: Instalación del lisímetro en campo**

Una vez instalados los lisímetros se enterraron todos los componentes y solo quedó visible el tubo de 2" por donde se realizó el bombeo del agua que drenaba del lisímetro (Figura 29). Posteriormente se sembró el césped en forma de esqueje para iniciar el periodo de investigación.



**Figura 29: Vista final de los lisímetros y etapa previa al inicio de la investigación**

## 4.5. MEDICIÓN DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN

### 4.5.1. TANQUE EVAPORÍMETRO

La preparación del tanque evaporímetro Clase A (Figura 30) abarcó la limpieza del tanque de fierro galvanizado, la elaboración de un cerco de seguridad hecho de malla galvanizada de 1/2" con la finalidad de evitar el ingreso de animales, así como el pulido del tornillo micrométrico y del pozo de estabilización (Figura 31). Tanto el tornillo como el pozo de estabilización eran de cobre, para que el contacto permanente con el agua no deteriore a dichos elementos del tanque. También es importante mencionar que las mediciones y toma de datos del tanque fue diario de lunes a viernes entre las 9 y 10 de la mañana.



**Figura 30: Tanque evaporímetro clase A**



**Figura 31: Tornillo micrométrico y pozo de estabilización**

Los cálculos consideraron el borde del tanque evaporímetro como suelo desnudo. Se contó con una plataforma de madera (Figura 32) en forma de reja a 15 cm sobre el nivel del suelo, sobre la cual se ubica el tanque. La función de dicha plataforma era la de estabilizar el tanque y que este se encuentre paralelo al suelo.



**Figura 32: Plataforma de madera para la instalación del tanque evaporímetro**

La malla que protegió el tanque evaporímetro considero un candado para evitar manipulación por parte de externos sobre todo en cuanto al tornillo micrométrico. Para la protección del agua de la formación de algas, se agregó en cada recarga entre 5 a 10 gramos de sulfato de cobre. El manejo del tanque finalizo con el mantenimiento del mismo, porque durante el estudio la superficie del tanque se vio afectada por problemas de corrosión, por lo que se lijaron las áreas afectadas, se aplicó un esmalte anticorrosivo y pintura marina marca JET (Figura 33) para que los niveles de turbidez no afecten los valores de ETo. Así mismo se confeccionó otra malla protectora y se lijo el pozo de estabilización.



**Figura 33: Pintura anticorrosiva para el mantenimiento del tanque evaporímetro**

#### **4.5.2. ESTACIÓN METEOROLÓGICA**

La instalación de la estación meteorológica fue en el nuevo Laboratorio de Hidráulica de la Facultad de Ingeniería Agrícola (Figura 34). Para brindar mayor seguridad, se ancló un poste metálico de cuatro metros a un pequeño muro con pernos pasantes y posteriormente se encargaron de la configuración de la consola (Figura 35). Para configurar la consola de la estación Davis se realizaron las mediciones de latitud, longitud y elevación mediante un GPS geodésico. Se configuró con ayuda del software Weather Link, los datos básicos requeridos para el monitoreo, tales como el intervalo de medición, definido en 30 minutos, la hora y las unidades de medición, entre otros parámetros.



**Figura 34: Instalación de la estación meteorológica Davis**



**Figura 35: Consola Davis Vantage Pro 2**

## 4.6. MONITOREO DE LA HUMEDAD EN EL SUELO

### 4.6.1. TENSÍOMETROS

Para la instalación de los tensiómetros SR-212, 0-100 centi bares (cbar), 30 cm IRROMETER, se siguieron las recomendaciones de los manuales del fabricante, los que especifican que antes de ser llevados a campos se deben sumergir en agua destilada las puntas de cerámica de los tensiómetros (Figura 36) durante al menos 24 horas. Posterior a ello se preparó un agujero con otro tensiómetro en desuso, porque de no ser así podrían haber quedado espacios vacíos entre la punta de cerámica y el suelo, y detectarían valores incorrectos. También se debe mencionar que los tensiómetros se han instalado procurando que la punta de cerámica este situada a 10 cm. de profundidad porque en dicha profundidad se encuentra la zona radicular del césped y de esta manera poder interpretar el esfuerzo que realiza la planta para poder extraer agua del suelo. Por tanto, se utilizó un tensiómetro por cada parcela demostrativa (Figura 37), es decir una por cada lisímetro. Las lecturas de los tensiómetros se dieron cada día entre las 9 a 10 am.



**Figura 36: Preparación de los tensiómetros y sensores Watermark para su instalación**



**Figura 37: Tensiómetros instalados en campo**

#### **4.6.2. SENSORES WATERMARK**

Los sensores Watermark se sumergieron en agua destilada (Figura 36) durante un día previo a su instalación. Para la instalación de un sensor Watermark se realizó un corte perpendicular en el suelo a una profundidad de 10 cm (Figura 38) y se retiró una superficie de suelo (alrededor de 100 cm<sup>2</sup>) para una instalación adecuada de los sensores. Luego se presionó al sensor, y se reinserto el terreno que había sido retirado. Cabe mencionar que el suelo estaba en condiciones muy próximas a capacidad de campo, por ello el suelo no ofreció una resistencia importante y de esa manera se aseguró que el sensor no sufra daños durante la instalación. También se garantizó que no existan espacios vacíos al empujar el sensor contra el suelo. Para la investigación se consideraron utilizar dos sensores Watermark para cada parcela, es decir cuatro en total. Pero al estar ubicados dentro del lisímetro no se encontraron alejados y por ello la mayoría de datos recolectados en el estudio fueron valores similares. Se llevó un control adecuado de humedad en la zona radicular del césped americano. Las medidas de los sensores fueron similares que en los tensiómetros. Las mediciones de los sensores se realizan con un medidor digital Watermark (Figura 39).



**Figura 38: Instalación de sensores Watermark a 10 cm. de profundidad**



**Figura 39: Medidor digital de humedad Watermark**

## **4.7. BALANCE HÍDRICO EN EL SUELO**

Las variables que intervienen en el balance hídrico en el suelo son las siguientes: lamina de riego, precipitación, agua drenada o percolada y la variación de humedad en el suelo. A continuación, se describirá la metodología que se utilizó para la determinación de cada una de las variables mencionadas.

### **4.7.1. LAMINA DE RIEGO (R)**

Las láminas de riego que se utilizaron fueron basadas en la ETo que indicaba el tanque evaporímetro clase A. Es decir, que el riego que se dio en la investigación fue la reposición de la ETo acumulada de 2 o 4 días. La acumulación de los días dependió de las condiciones meteorológicas y de los datos que se tomaban del tanque evaporímetro. Se acumulaba dos días en los meses de marzo y abril, y por el contrario en los meses de mayo, junio y julio se daban los riegos mayormente cada 4 días, salvo excepciones especiales por algún día con alta evapotranspiración. Otro aspecto que se tomó en cuenta fue los horarios de riego porque al utilizarse riego por aspersión el viento puede alterar los radios y ángulos de riego. Por ese motivo el riego se dio entre las 9 y 10 de la mañana.

En lo que respecta a la utilización de la lámina de riego, se utilizaron los valores que se obtuvieron de la prueba de uniformidad dentro de los lisímetros. Es decir, no se utilizó la velocidad de aplicación promedio de toda la parcela experimental (240 mm/h), sino los datos que se registraron dentro del área del volumen de control (420 mm/h para la parcela A y 316.5 mm/h para la parcela B). La explicación de ello radica en que el traslape de los cuatro difusores en cada parcela se concentraba en el centro, es decir en el área del volumen de control.

### **4.7.2. PRECIPITACIÓN (P)**

Esta variable fue monitoreada por la estación meteorológica. Cabe mencionar que durante el periodo de estudio se registraron valores máximos de precipitación diaria de 0.25 mm. Dichos valores se presentaron en los meses de junio y julio.

### 4.7.3. AGUA DRENADA (D)

La medición del agua drenada se realizó mediante el lisímetro. El cual contaba con un recipiente para el almacén de agua drenada. Es importante mencionar que el agua drenada luego de cada evento de riego se extraía con la ayuda de una bomba de succión manual (Figura 40). Esta bomba tuvo un costo aproximado de S/ 200 (incluyendo accesorios). La eficiencia hidráulica de la bomba fue 98 por ciento de acuerdo a los ensayos realizados en el laboratorio.



**Figura 40: Extracción de agua drenada utilizando una bomba de succión manual**

El drenaje se realizó un día después del evento de riego para permitir que el agua pueda descender a través del suelo. El tiempo de espera para que toda el agua descienda dentro del lisímetro se determinó cuando se realizaron pruebas en laboratorio del lisímetro, porque en dichas evaluaciones se utilizó el suelo que se encontraba alrededor del área experimental. Los volúmenes de agua drenada que se monitorearon a lo largo de la investigación fueron variables, y obviamente dependieron de las dosis de riego que se dieron. Dichos volúmenes

se convirtieron en láminas al dividirlos entre el área del volumen de control, dado que para procesarlos en la ecuación de balance hídrico en el suelo era necesaria su conversión. Es importante mencionar que desde el 14 de marzo hasta el 15 de abril los drenajes no fueron al día siguiente del evento de riego, sino que por el contrario se acumularon los riegos afectando los balances hídricos, y para ello se acumularon los valores de la ETo de acuerdo a los días que se acumularon los riegos.

#### **4.7.4. VARIACIÓN DE HUMEDAD EN EL SUELO ( $\Delta SW$ )**

Se utilizaron los sensores de humedad, por ello fue necesario realizar la calibración de cada uno de ellos mediante el método gravimétrico para conocer la humedad en el suelo. Fue fundamental conocer la variación de humedad en milímetros de agua. Las mediciones en los sensores fueron antes y un día después de cada riego, y así registrar la variación de humedad en cada evento de riego.

Las variaciones de humedad registradas fueron alrededor de capacidad de campo, los valores fueron expresados en láminas de agua. De no haberse trabajado en dichas condiciones de humedad, esta variable como parte del balance hídrico en el suelo no hubiera expresado una evapotranspiración del cultivo en condiciones estándar.

#### **4.7.5. EVAPOTRANSPIRACIÓN DEL CULTIVO BAJO CONDICIONES ESTÁNDAR ( $ET_c$ )**

La  $ET_c$  fue la incógnita en el balance hídrico en el suelo. Por tanto, para la determinación de esta incógnita se utilizaron todas las variables presentadas y se utilizó la siguiente ecuación:

$$ET = R + P - D - \Delta SW$$

Para la aplicación de la ecuación era necesario un evento de riego, por lo que la determinación de la  $ET_c$  y el coeficiente de cultivo se dieron en relación a la cantidad de riegos a lo largo de la investigación. La unidad en que se trabajó esta variable fue mm.

#### **4.8. COEFICIENTE DE CULTIVO ( $K_c$ )**

El coeficiente de cultivo del césped americano se calculó con cada valor de  $ET_c$  disponible y se relacionó con el registro de ETo que se monitoreo a lo largo de la investigación. Es

importante mencionar que los valores de  $K_c$  determinados en este estudio son para condiciones de La Molina y en particular para las condiciones meteorológicas propias de la estación en la que llevo a cabo el estudio.

#### **4.9. ANÁLISIS DE DATOS**

La determinación de la  $ETo$  se realizó de acuerdo a la FAO Penman – Monteith y tanque evaporímetro. La estación Davis genera información de  $ETo$  en base al método FAO Penman – Monteith, y para validar la información que registro se consideraron los coeficientes de Nash – Stueliffe, la raíz del error medio cuadrático y la desviación media. Es decir, la  $ETo$  se obtuvo a partir de la estación meteorológica, la metodología que recomienda la FAO y el tanque evaporímetro. Se compararon las dos primeras metodologías con respecto al tanque evaporímetro para verificar cuál de las dos fue más conveniente.

## V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 5.1. ANÁLISIS DEL AGUA Y SUELO

#### 5.1.1. ANÁLISIS DEL AGUA

De acuerdo a los análisis realizados en la investigación se identificó que el pH del agua aumentó ligeramente de 7,24 a 7,31; pero sin dejar de ser un agua neutra. Otro aspecto importante en la caracterización del agua es la cantidad de sales que presenta. La salinidad se mide a través de la conductividad eléctrica (CE), que en este estudio se incrementó de 0,49 a 0,68 dS/m, por ello el agua utilizada perteneció a la clasificación C2 en todo momento, es decir la salinidad en el agua fue moderada. La cantidad de sodio del fluido en análisis, nos indica el efecto que puede tener el agua en la permeabilidad del suelo, es decir puede afectar el drenaje del agua en el suelo. Para poder clasificar el contenido de sodio en el agua, se utiliza la relación de adsorción de sodio (RAS) que para este experimentó varió de 0,6 a 0,5. Valores que pertenecen a la clasificación S1, la cual indica que no se presenta peligro de sodio. Por consiguiente, al considerar la salinidad y la presencia de sodio en el agua, deducimos que se desarrolló la investigación con un agua C2 – S1, lo que significa un agua de buena calidad para los cultivos que toleran moderadamente la sal y que no se afectó la permeabilidad ni la estructura del suelo.

Por otro lado, los resultados del análisis microbiológico del agua se debe indicar que se cumplen con los estándares nacionales de calidad ambiental para agua tipo III (agua para riego). Porque las enumeraciones de coliformes totales, fecales y de *Escherichia coli* están muy debajo de los valores permisibles (5000 NMP/100 ml) para los coliformes totales, 1000 NMP/100ml para los coliformes fecales y 100 NMP/100ml para *Escherichia coli*.

### **5.1.2. ANÁLISIS DEL SUELO**

Las características físicas del suelo (Anexo 1) indican que tiene una textura franco (arena: 50 por ciento, limo: 36 por ciento, arcilla: 14 por ciento), es decir el suelo contiene mucha arena pero suficiente limo y arcilla para conferirle cohesión.

Al analizar las características químicas del suelo se debe mencionar que se clasificó como muy ligeramente salino (CE menor a 2 dS/m), moderadamente alcalino (pH entre 7,9 – 8,4), presentó una baja presencia de materia orgánica (M.O. menor a 2 por ciento), existió baja presencia de fósforo (P menor a 70 ppm), pero un contenido medio de potasio (P entre 100 – 240) y finalmente una disponibilidad de calcáreo total medio ( $\text{CaCO}_3$  entre 1 – 5 por ciento). Al comparar los resultados con respecto a los análisis al inicio y a lo largo del estudio se notó que la mayoría de indicadores se mantienen, excepto el contenido de potasio, que disminuye alrededor de 24 partes por millón debido a los eventos de riego que se aplicaron durante la investigación. Pero ello no indica un cambio en su clasificación, por lo que se puede afirmar que el suelo no varió a lo largo de la investigación.

Como último análisis al suelo se tiene a sus características hidráulicas, tales como su capacidad de campo (CC) y el punto de marchitez permanente (PMP) expresados en contenido volumétrico (%). En el caso de la parcela A se tiene como capacidad de campo 20 por ciento de contenido volumétrico y como PMP a 10 por ciento. De similar manera para la parcela B se tiene que su CC es 21 por ciento y PMP es 11 por ciento.

### **5.2. EVALUACIÓN DEL LISÍMETRO DE DRENAJE**

El lisímetro de drenaje se evaluó en función a tres criterios los cuales son: estabilidad, confiabilidad, sencillez y económica (Khan *et al.* 1998).

El grado de estabilidad del lisímetro de drenaje utilizado fue óptimo durante la fase constructiva. La razón de ello es que al utilizarse una maceta de polipropileno como base para todo el diseño no se presentaron problemas para ir adicionando los otros componentes pertenecientes al lisímetro. Pero uno de los problemas de este lisímetro es que para el transporte del laboratorio al campo experimental se necesitó de una carretilla, porque al contener diversos materiales el lisímetro tenía un peso considerable. Así mismo se debe indicar que su instalación en campo requiere como mínimo a tres personas, debido a que la

colocación del recipiente de almacén de agua drenada considero una inclinación de 45° con respecto al piso para asegurar que toda el agua se acopie en un solo punto para su bombeo y la conexión entre la maceta y dicho recipiente se realizó en campo mediante una manguera de polietileno de 16 mm. En tanto se debe mencionar que la instalación de este lisímetro es una labor precisa y a la vez trabajosa.

La confiabilidad del lisímetro se refleja en los resultados de ETc (mm/día) que se obtienen a partir de dicho dispositivo. En especial para esta investigación la obtención de la ETc era parte de los requerimientos para la determinación del Kc del césped la confiabilidad se midió en función a los valores de Kc obtenidos. La ETo no es una variable que afecte al lisímetro, porque está en función a variables climáticas y para esta investigación se obtuvo a partir de un tanque evaporímetro. Por tanto, la confiabilidad de este lisímetro se evidencia en que la mayoría de los Kc obtenidos están dentro de los límites estadísticamente.

Finalmente, con respecto a la sencillez y economía, se establece que la construcción del lisímetro fue sencilla, porque su construcción tomo alrededor de 3 días e implicó a unas tres personas. Los materiales están disponibles en centros comerciales y/o ferreterías. Con respecto a la economía, el costo en materiales de los 2 lisímetros de drenaje considerando los sensores de humedad (Watermark) fue de S/ 1 461,40; pero se aproximó dicha suma a S/. 1500 debido a costos de transporte y algunos repuestos en caso de fallas en el proceso de construcción del lisímetro. El presupuesto que implica un lisímetro de pesada para un cultivo como el césped americano es de S/ 2 732,34 o 806 dólares americanos (Wherley *et al.*, 2009), al comparar dicho monto con respecto al costo de los 2 lisímetros de drenaje utilizados en esta investigación se evidencia un ahorro de S/ 1 232,34. Es importante mencionar que un lisímetro de pesada tiene un mayor grado de exactitud en cuanto a balance hídrico se refiere, pero como se lee líneas arriba tiene un costo más elevado.

A continuación, en la Tabla 13 se muestran los costos para un lisímetro de pesada.

**Tabla 13: Componentes y costos aproximados para un lisímetro de pesada**

<b>Componentes</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Costo (\$)</b>
<b>Materiales del lisímetro</b>		21
10-pulgadas diámetro x 13-pulgadas de longitud Tubo PVC	1	
10-pulgadas de diámetro x 6-mm tablero de espuma PVC	1	
1/2-pulgadas tampones roscados PVC	4	
1/4-pulgada x 10 3/4 pulgadas stock de acero redondo	1	
1/4-pulgada x 2 1/4 pulgadas stock de acero redondo	6	
4-mm x 9-pulgada cable de utilidad	3	
Base de silicona	1	
10-pulgadas de diámetro de tela de jardín redonda	1	
<b>Manga exterior</b>		5
5-cubos gal	1	
1/8-pulgada remaches	8	
<b>Aparatos para pesar</b>		
Juego de elevación de tripode	1	135
Célula de carga	1	625
Otros materiales	3	20

**Fuente:** Adaptado de Wherley 2009.

### **5.3. CONDICIONES AMBIENTALES**

Para esta investigación se utilizó información meteorológica desde la última quincena de marzo hasta el mes de julio. Las principales variables climáticas que se tomaron en cuenta fueron las siguientes: la temperatura, humedad relativa, velocidad del viento y la radiación solar, que se resumen en la Tabla 14 y se aprecian en las Figuras 41 – 44. En dicha tabla se observa que el periodo en que se desarrolló la investigación abarca un cambio estacional de

una estación calurosa a una fría. Se evidencia ello en el decrecimiento de la temperatura, aumento de la humedad relativa y reducción de la radiación solar. De todos esos datos meteorológicos monitoreados se debe resaltar el mes que registró la mayor temperatura fue marzo (30.8 °C) y el mes con menor temperatura fue junio (13.7 °C). A pesar que en promedio el mes de julio registró menores temperaturas que junio. En promedio la máxima velocidad de viento se dió en el mes de marzo debido a que depende de la temperatura y la humedad relativa, estos últimos inversamente proporcionales entre ellos (Wherley *et al.* 2009). La humedad relativa promedio mensual fluctuó entre 76.7 y 91.17 por ciento. Finalmente la radiación solar disminuyó notoriamente por el cambio estacional.

**Tabla 14: Resumen de datos meteorológicos monitoreados durante la investigación**

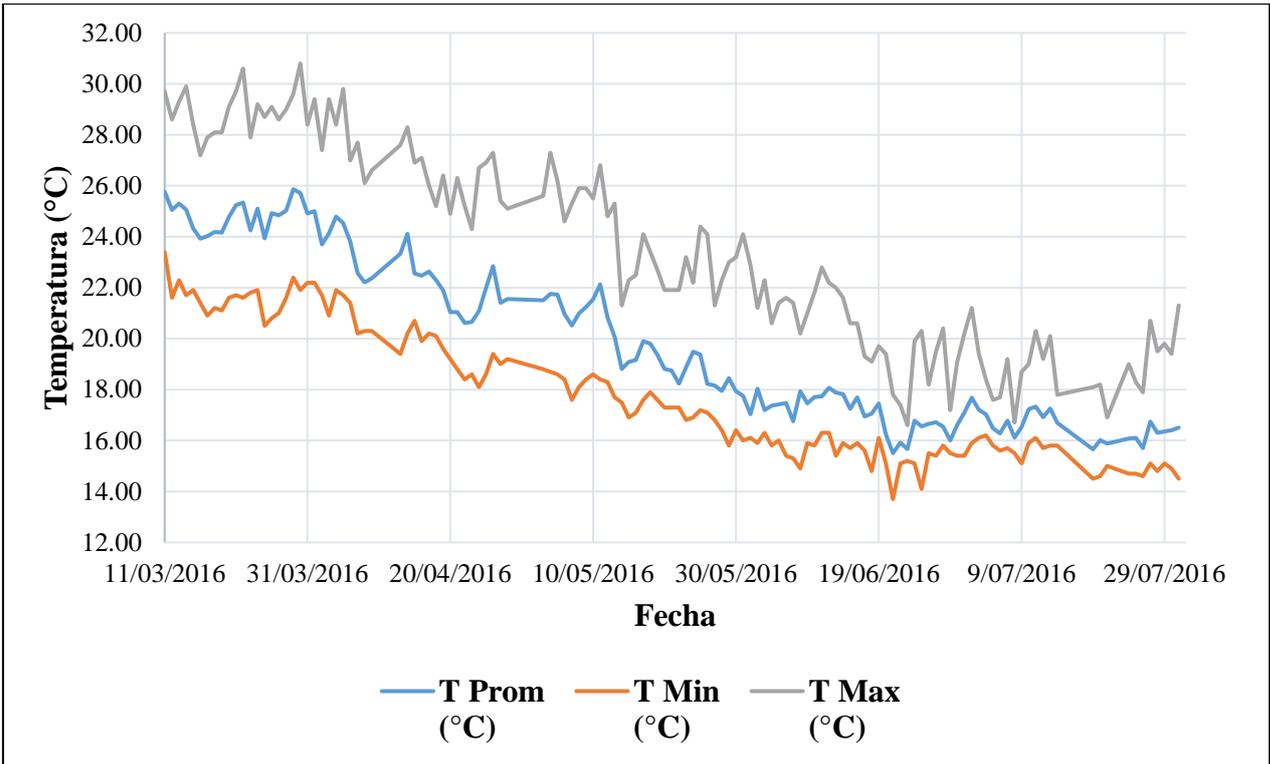
Mes	T Prom (°C)	T Min (°C)	T Max (°C)	Velocidad viento (m/s)*	Hum. Rel (%)	Rad. Solar (MJ m <sup>-2</sup> /día)	ETo (mm/día)	ETo (mm/mes)
Marzo	24.84	20.50	30.80	1.26	76.70	18.52	4.26	88.97
Abril	22.58	18.10	29.80	1.12	81.55	14.02	3.09	90.75
Mayo	19.70	15.80	27.30	0.82	86.12	4.79	1.95	63.03
Junio	17.05	13.70	22.90	0.82	91.17	2.94	1.10	32.86
Julio	16.58	14.50	21.30	0.96	90.79	2.43	0.81	34.02
Promedio	20.15	16.52	26.42	1.00	85.27	8.54	2.42	309.63**

(\*) Velocidad del viento corregida a 2 m de altura. A la altura en la que se ubicó la estación meteorológica fue de 11.077 m con respecto al nivel del terreno.

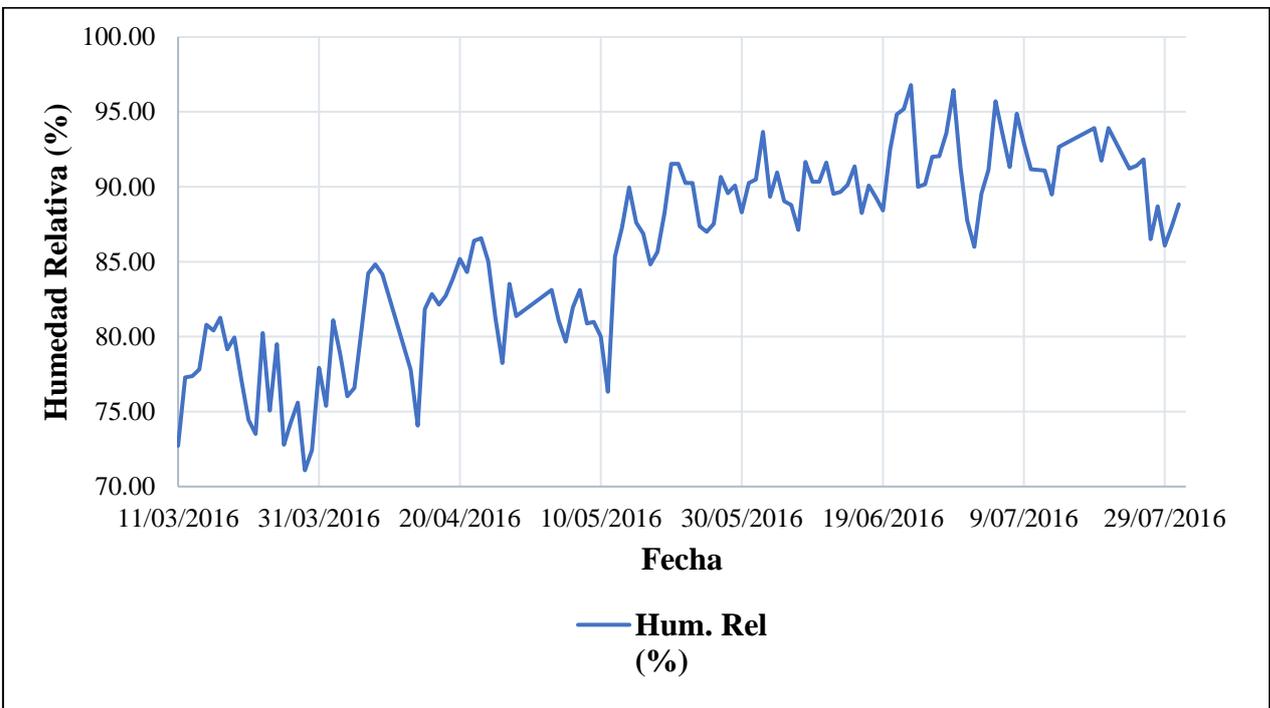
(\*\*) Se indica el acumulado durante el periodo de estudio, es decir son 309.63 mm.

A continuación, se presentan de manera ilustrada los registros realizados a lo largo de la investigación. Cabe resaltar que se los datos que se exhiben son los resultados del manejo de la información registrada por la estación Davis.

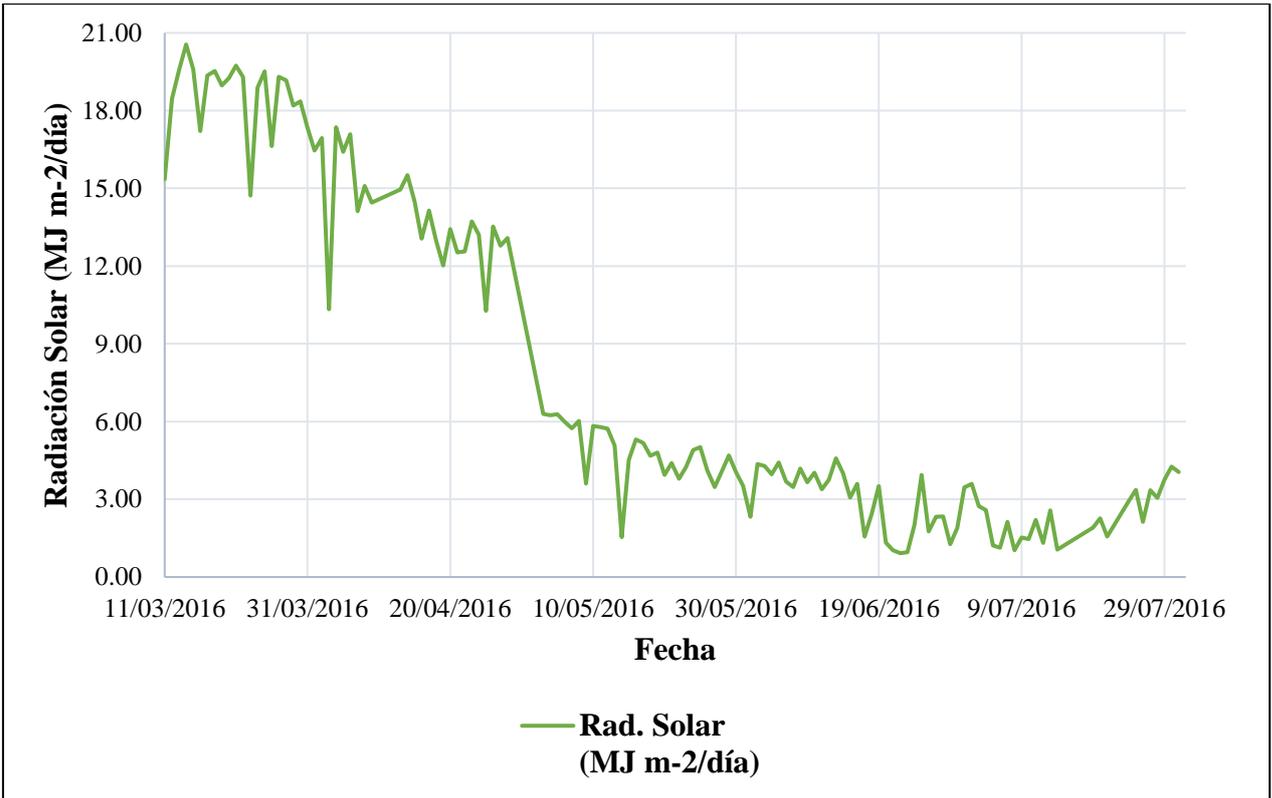
En las siguientes Figuras 41 – 44 se contempla el monitoreo de los datos meteorológicos necesarios para esta investigación.



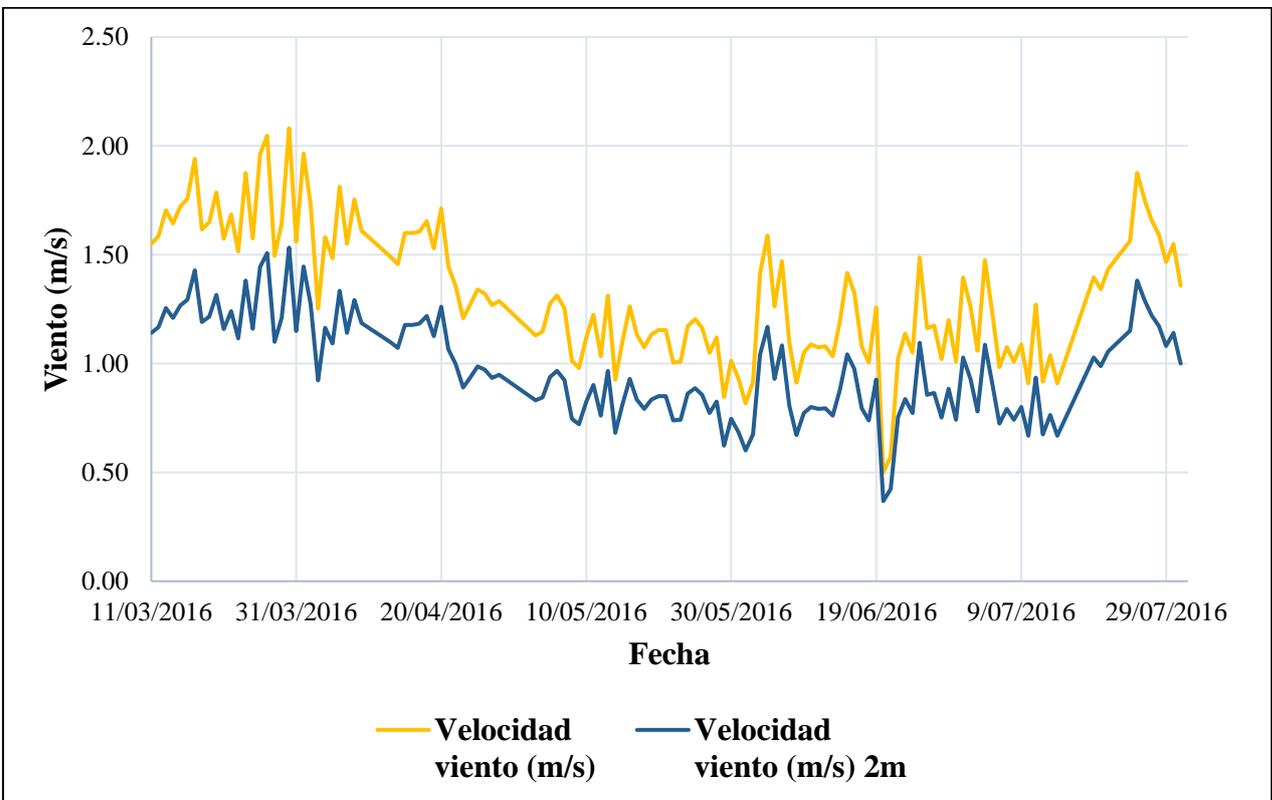
**Figura 41: Registro de la temperatura a lo largo de la investigación**



**Figura 42: Registro de la humedad relativa durante la investigación**



**Figura 43: Registro de la radiación solar durante la investigación**



**Figura 44: Registro de la velocidad del viento durante la investigación**

Se debe mencionar que en la Figura 44 se consideró la velocidad de viento a 11,077 m (altura de instalación de la estación Davis) y a 2 m (altura con la que se trabaja el método FAO Penman – Monteith).

De manera adicional, se evaluaron los comportamientos diarios de las variables climáticas en cada mes de estudio. Para ello, se consideraron promedios horarios para cada mes (ver Figuras 45 – 49). La importancia de ello radica en relacionar las variables climáticas con respecto a la ETo en función a las variaciones de las misma a los largo del día.

En la Figura 45 se muestra la temperatura promedio en un día por cada mes. El césped americano es un cultivo que resiste temperaturas altas y se comporta muy bien en temperaturas mayores a 5 °C (Monje 2006). Por tanto, el cultivo no se ha visto con sobrecalentamiento, lo cual sería perjudicial para el césped, dado que se afectarían el citoplasma y por ello al proceso fotosintético del césped (Alcaraz *et al.* 2012).

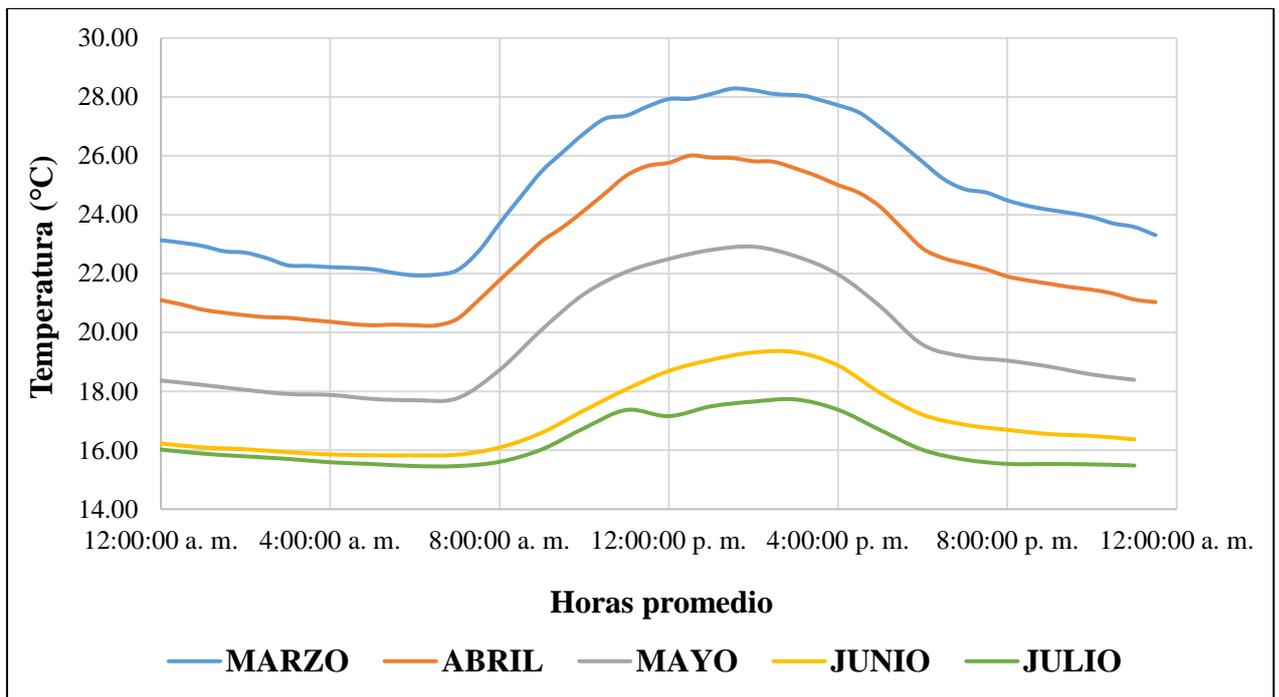
El comportamiento de la humedad relativa (Figura 46) es inverso al comportamiento de la temperatura. Es evidente que en los meses de junio y julio el requerimiento hídrico de la planta sea menor que los otros meses, debido a que el vapor de agua contenido en el aire es mayores al 80 por ciento durante todo el día. En tempranas horas en dichos meses de llega hasta un 90 por ciento, lo cual indica que las hojas del césped se encuentren hidratadas, beneficiando especialmente al césped con fines urbanísticos. Al estar las hojas de césped hidratadas, se produce una mayor abertura de estomas que aumenta la actividad fotosintética del cultivo (Shelton 2005).

Con respecto a la radiación solar, apreciamos que la tendencia mostrada en la Figura 47 es muy parecida a la observada en la Figura 49. Por lo que, se puede inferir que el comportamiento de la radiación solar rige con más severidad que las otras variables climáticas el comportamiento de la ETo.

En el caso de la velocidad viento adicionalmente sirve para analizar las horas adecuadas para brindar el riego presurizado, es decir conocer cómo se comportó el viento durante todo el día (Figura 48), para lo cual se promediaron los registros de la estación por hora y se trabajaron con horas promedios. El resultado fue que las horas recomendadas de riego estarían entre la media noche hasta las 8 de la mañana, debido a que la velocidad del viento

en dicho intervalo de tiempo fue menor a 2.1 m/s. En caso la velocidad del viento sea mayor provoca una aplicación desigual del agua (Ortiz *et al.* 2013).

En la Figura 49 se identifica que las horas menos apropiadas para regar fueron desde las 8 a.m. hasta las 8 p.m., porque se presentan mayores valores de ETo. Ello supone una menor eficiencia en el uso del agua, debido a que en el riego por aspersión el agua queda en la superficie y por tanto existiría una mayor evaporación del agua. Por lo tanto, las horas más adecuadas para realizar el riego serían a partir de media noche hasta las 8 am.



**Figura 45: Comportamiento de la temperatura durante el día**

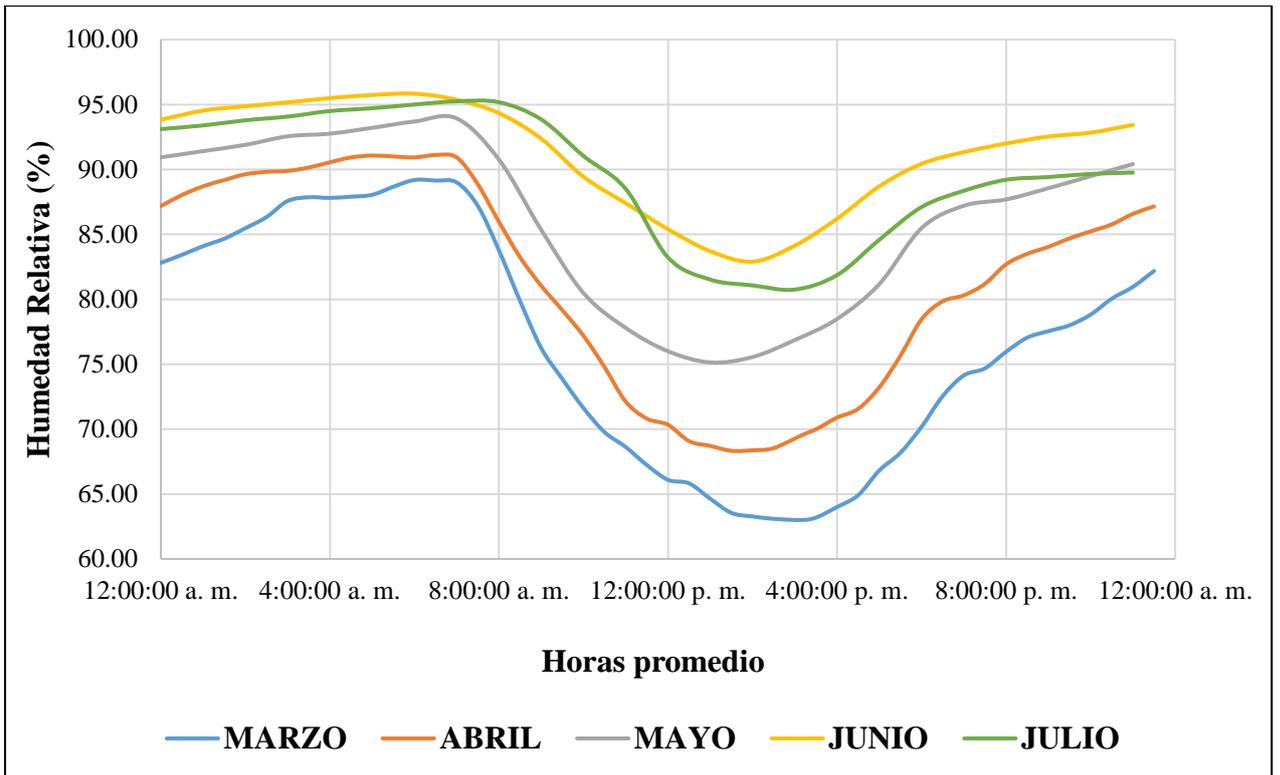


Figura 46: Comportamiento de la humedad relativa durante el día

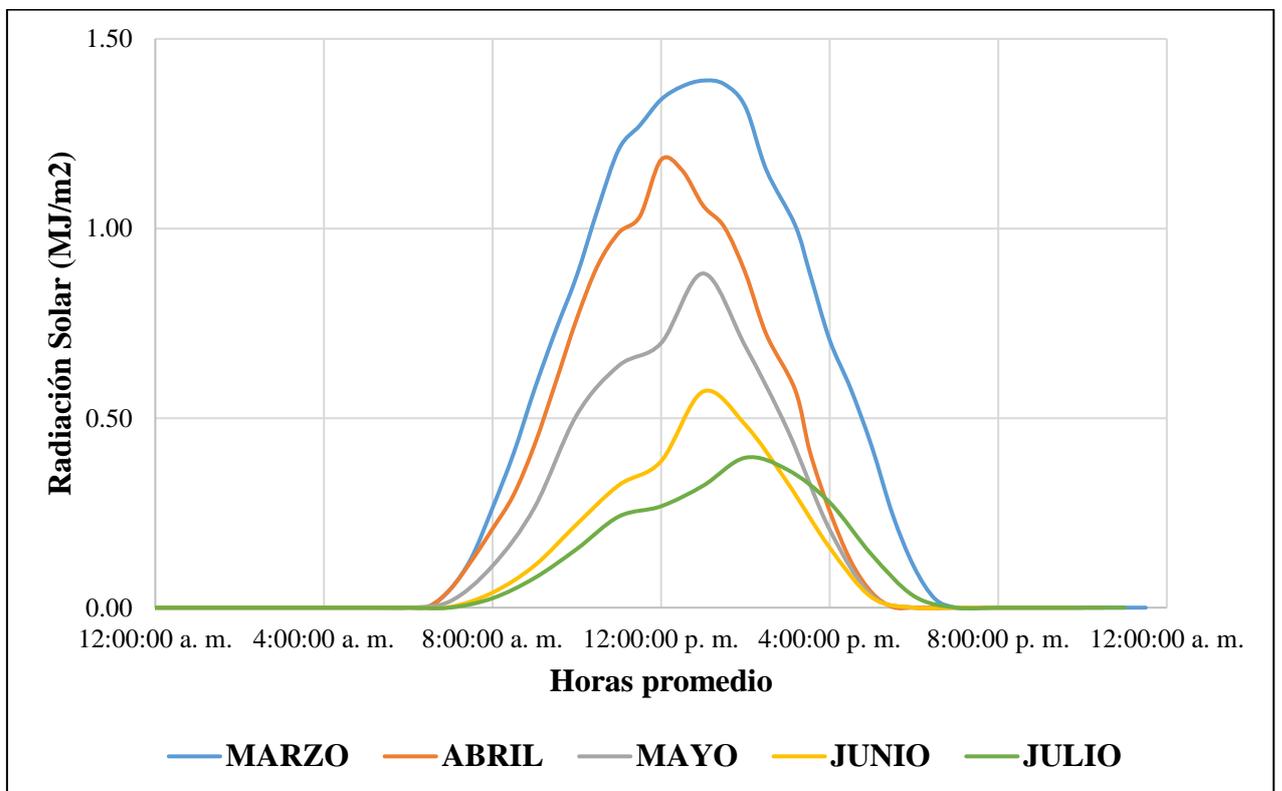


Figura 47: Comportamiento de la radiación solar durante el día

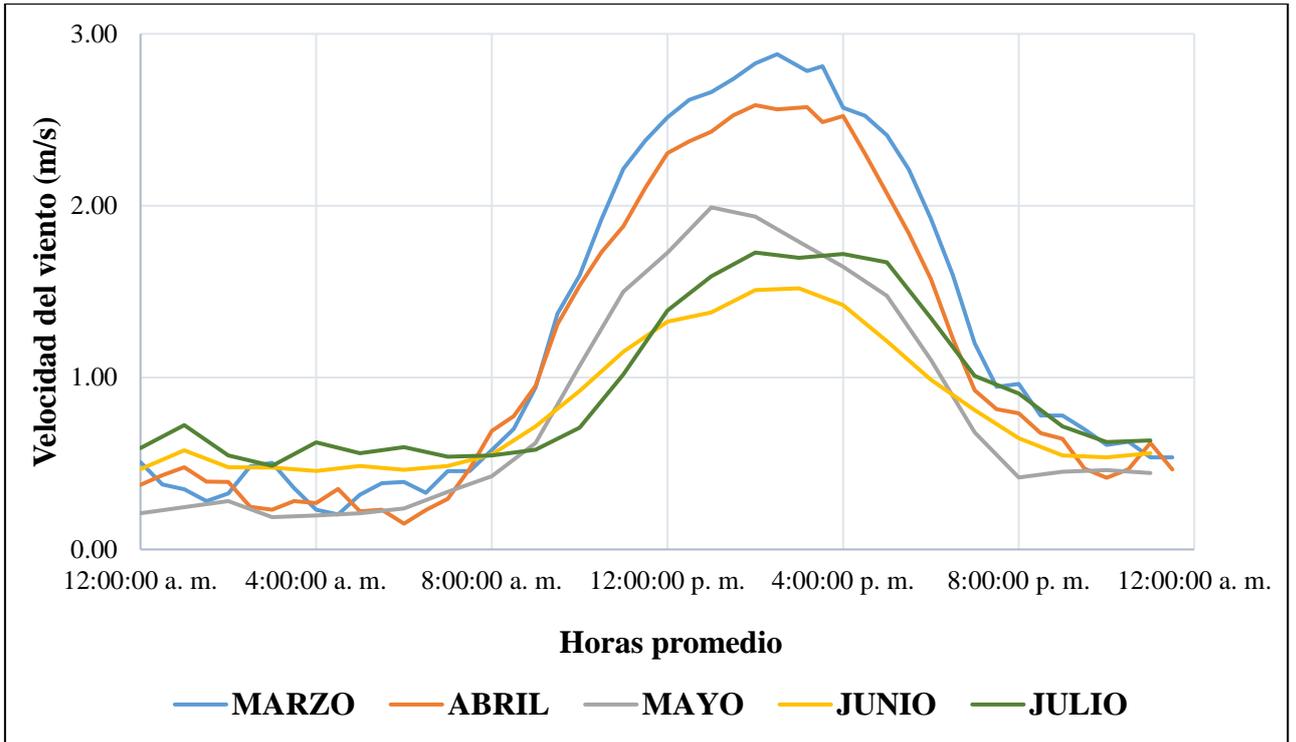


Figura 48: Comportamiento del viento a 2 m de altura durante el día

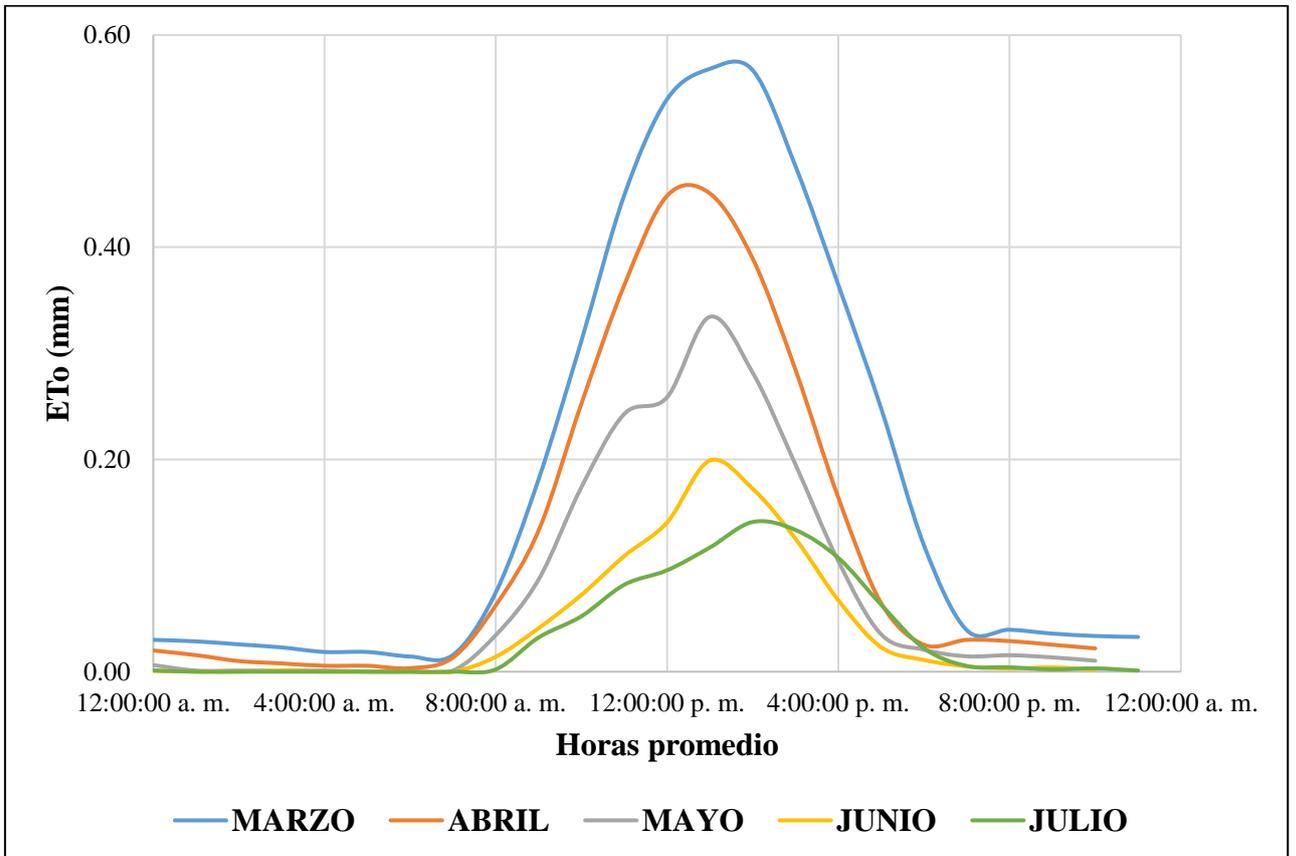


Figura 49: Comportamiento de la ETo durante el día

#### 5.4. EVAPOTRANSPIRACIÓN DEL CULTIVO DE REFERENCIA (ET<sub>o</sub>)

Se utilizaron principalmente dos métodos para determinar la evapotranspiración de referencia. Los métodos fueron los siguientes: FAO Penman – Monteith y el tanque evaporímetro clase A. La Tabla 15 presenta el resumen de los datos registrados mediante el tanque evaporímetro. Es importante indicar que para los cálculos y procedimientos se utilizaron los datos que proporciona el tanque evaporímetro los que incorporan todas las variables climáticas y porque los datos de ET<sub>o</sub> que se obtienen por otros métodos se calibran en función al método del tanque evaporímetro. También se debe mencionar que el factor del tanque considerado en esta investigación fue 0,8, que resulta de relacionar la humedad relativa, el borde y la velocidad del viento a 2 m de altura. Dicha relación se detalla en el Manual 56 de la FAO, factor que aproxima las lecturas en el tanque de acuerdo a las condiciones meteorológicas que se presentaron en el periodo de evaluación.

**Tabla 15: Resumen del monitoreo de la ET<sub>o</sub> mediante el tanque evaporímetro**

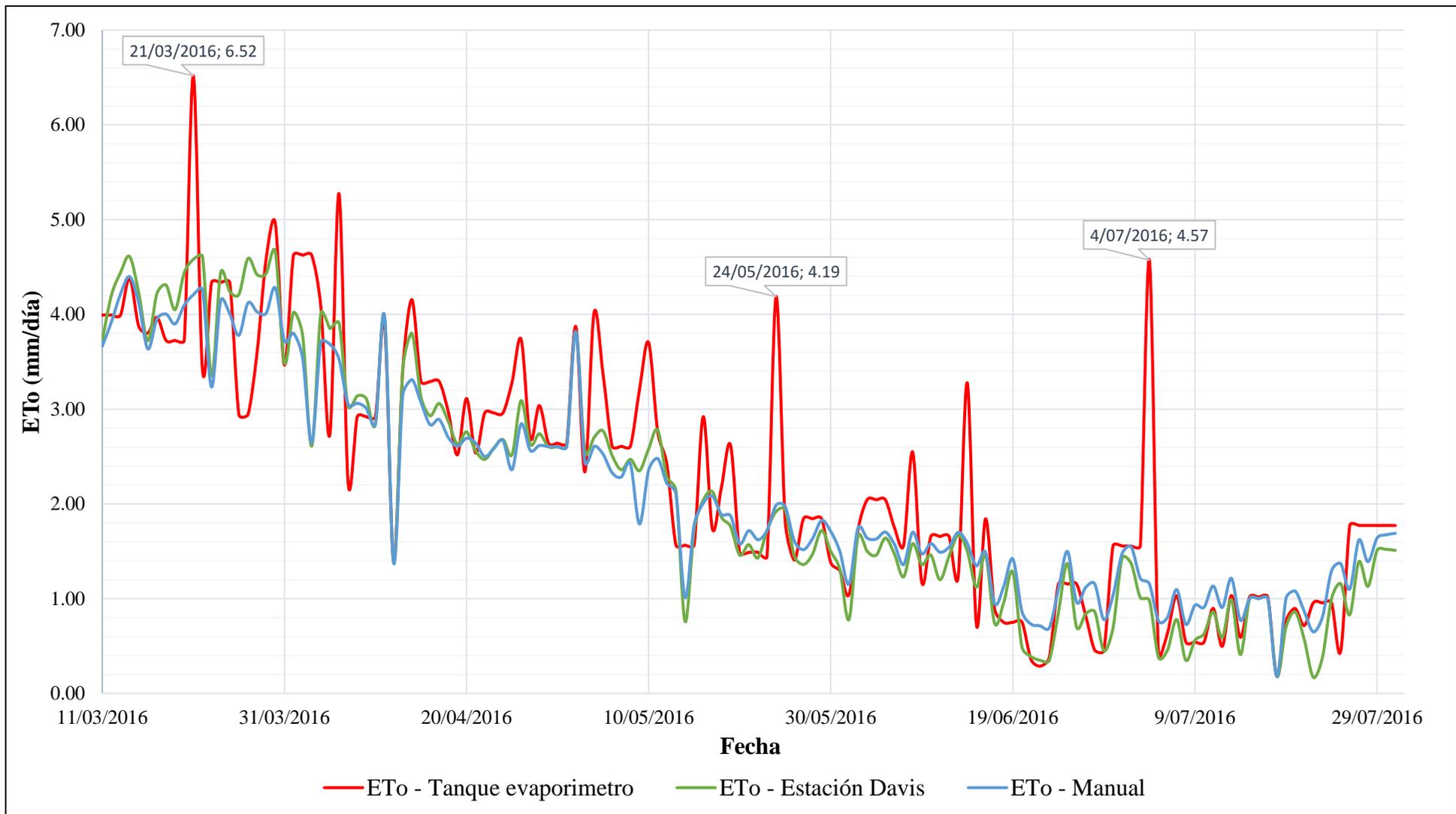
Mes	ET <sub>o</sub> mensual (mm/mes)	ET <sub>o</sub> promedio (mm/día)	ET <sub>o</sub> máxima (mm/día)	ET <sub>o</sub> mínima (mm/día)
Marzo	117,98	3,81	6,52	2,41
Abril	97,74	3,26	5,27	1,40
Mayo	71,84	2,32	4,19	1,29
Junio	38,90	1,30	3,28	0,29
Julio	35,53	1,15	4,57	0,18

En la tabla presentada, se puede identificar como la ET<sub>o</sub> ha ido variando en función al cambio estacional. Se puede notar que el valor máximo se presentó en el mes de marzo (6,52 mm/día), exactamente el día 21 del mencionado mes y el mínimo el 18 de julio (0,18 mm/día). A nivel mensual se aprecia que la ET<sub>o</sub> ha ido decreciendo y por tanto la reposición de agua a las parcelas experimentales se fue reduciendo, por lo que la frecuencia de riego fue variando en función a la ET<sub>o</sub>. La evapotranspiración potencial acumulada durante toda la investigación fue 361,99 mm.

La metodología que permite que la estación proporcione la ET<sub>o</sub> directamente es el método FAO Penman – Monteith (Manual de consola Davis 2012). En la Figura 50 se puede observar

el monitoreo de la ETo obtenido a partir del tanque evaporímetro y la estación meteorológica.

Las curvas que se muestran en la Figura 50, se evaluaron estadísticamente utilizando el coeficiente de Nash – Sutcliffe, la raíz del error cuadrático medio (RMSE) y la desviación media (B). Para verificar cuál de las series: obtenidas por la estación Davis o la obtenida a través de cálculos realizados en hojas de cálculos se ajusta mejor a la ETo del tanque evaporímetro clase A.



**Figura 50: Evapotranspiración registrada durante la investigación**

El coeficiente de Nash – Sutcliffe de la serie de la estación Davis con respecto a la del tanque evaporímetro resultó 0,76, lo cual considera un ajuste muy bueno (Cabrera 2012). De similar manera el coeficiente de Nash – Sutcliffe de la serie manual (uso de la ecuación FAO Penman – Monteith) con respecto a la del tanque evaporímetro fue de 0,75. Por tanto, la información obtenida a partir de la estación Davis es más precisa que la procesada de manera manual, debido a que el primer valor es más cercano a la unidad (Riquelme 2010).

La raíz del error medio cuadrático (RMSE) obtenido entre la serie de la estación Davis y la del tanque evaporímetro fue 0,65, mientras que el RMSE resultante entre la serie deducida manualmente y la del tanque evaporímetro fue 0,66. Por tanto, los datos de la estación Davis presentan mayor precisión con respecto a la ETo procesada de forma manual, porque mientras más cercano sea el RMSE a cero el ajuste es más perfecta. (Cabrera 2012).

La desviación media (B) resultante de relacionar la ETo monitoreada por la estación Davis y la medida con el tanque evaporímetro fue -0,18. De similar manera, la desviación media entre la curva denominada “ETo – Manual” y “ETo – Tanque evaporímetro” fue -0,15. Por lo cual esta última relación es más precisa que la primera. Por tanto, el mejor ajuste de acuerdo a este parámetro lo tuvo la ETo obtenida a partir de procedimientos manuales, dado que al someterlos a valor absolutos es menor, por lo que es más preciso (Lavado *et al.* 2015).

## **5.5. BALANCE HÍDRICO EN EL SUELO**

### **5.5.1. RIEGO**

La láminas de riego estuvieron en función a la ETo y un factor de 1,3 (Rodríguez 2012) aplicado a la ETo para incentivar el drenaje en el lisímetro. Las pruebas de uniformidad en cada parcela de 1,2 m x 1,2 m (Figura 51). En la Tabla 16 se aprecia la prueba de uniformidad realizada en cada parcela. Con la velocidad de aplicación promedio en toda la parcela se determinó el tiempo de riego. Por ello se consideró el promedio de ambas pruebas de uniformidad, es decir 244,77 mm/h, que se aproximó a 240 mm/h de acuerdo al catálogo del fabricante.



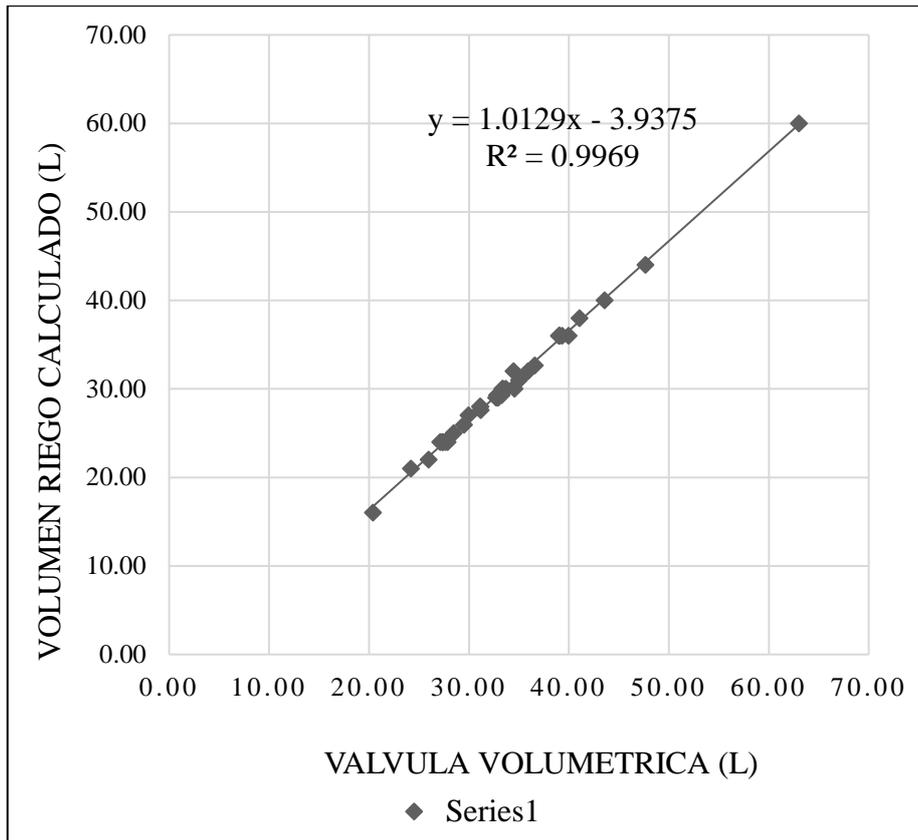
**Figura 51: Prueba de uniformidad en una parcela experimental**

A continuación se presenta los resultados de la prueba de uniformidad en cada parcela experimental.

**Tabla 16: Prueba de uniformidad en cada parcela**

<b>Parcela</b>	<b>A</b>	<b>B</b>
Fecha del ensayo	13/06/2016	13/06/2016
Hora aproximada	Entre 09:25 a 09:28 am.	Entre 09:35 a 09:38 am.
Presión del sistema (bar)	1,5	1,5
Duración del ensayo (min)	3	3
Recipientes	Volumen (ml)	Volumen (ml)
A1	115	86
A2	144	112
A3	136	118
B1	103	75
B2	130	117
B3	161	118
C1	101	109
C2	170	115
C3	110	117
<b>Coefficiente de uniformidad</b>	<b>74,27</b>	<b>74,92</b>
Promedio (ml)	137,3	107,44
Radio del recipiente (m)	0,047	0,047
Área del recipiente (m <sup>2</sup> )	0,0035	0,0035
Tiempo (h)	0,05	0,05
Lamina (mm)	13,73	10,74
<b>Vel. Apli. (mm/h)</b>	<b>274,67</b>	<b>214,89</b>

Para que las láminas de riego calculadas en función a la ETo sean confiables se relacionaron dichas láminas convertidas a litros con respecto a los volúmenes monitoreados en la válvula volumétrica en el arco de riego. En la Figura 52 se aprecia dicha relación y a su vez se observa que la correlación (función lineal) es muy próxima a la unidad, por lo que se puede indicar que las láminas de riego determinadas en función a la ETo si se brindaron en las parcelas demostrativas. Así mismo se puede mencionar que los filtros en los difusores no presentaron alguna obstrucción y los componentes de riego funcionaron correctamente.



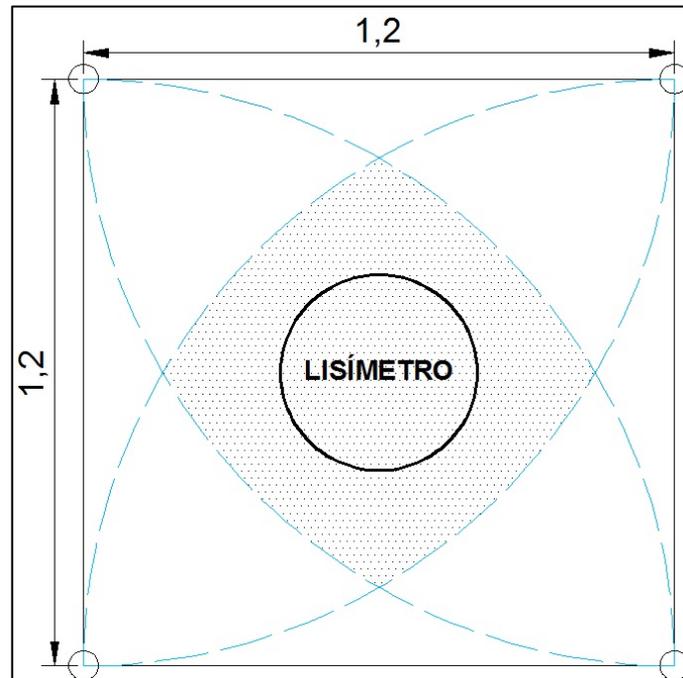
**Figura 52: Relación entre lamina de riego y monitoreo de la válvula volumétrica**

De similar manera se realizaron pruebas de uniformidad en el área del volumen de control (Figura 53). Con el propósito de conocer la cantidad de agua que realmente ingresaba al volumen de control.



**Figura 53: Determinación de la lámina de riego en un lisímetro**

Los resultados de la prueba de uniformidad en el área superficial del volumen de control se muestran en la Tabla 17, y es notoria la diferencia con respecto a los datos obtenidos en la Tabla 16, porque en la prueba de uniformidad en el área del lisímetro existe un traslape de los cuatro difusores de riego (Figura 54).



**Figura 54: Traslape de los arcos de riego en el área ocupada por el lisímetro**

Es importante indicar que el valor del coeficiente de uniformidad presentado en la Tabla 17 es 91,43 por ciento en la parcela A y 85,31 por ciento para la parcela B, debido a que los recipientes estaban ubicados muy cercanos dentro del área superior del lisímetro ( $0,15 \text{ m}^2$ ). La velocidad de aplicación resultante para la parcela A fue de 420,00 mm/h y en la parcela B 316,50 mm/h.

**Tabla 17: Prueba de uniformidad en el área del lisímetro**

<b>Parcela</b>	<b>A</b>	<b>B</b>
Fecha del ensayo	16/03/2016	16/03/2016
Hora aproximada	Entre 8:28 a 8:29 am.	Entre 8:35 a 8:36 am.
Presión del sistema (bar)	1,45	1,45
Duración del ensayo (min)	1	1
Recipientes	Volumen (ml)	Volumen (ml)
B1	72	45
B2	64	66
T1	73	51
T2	71	49
<b>Coefficiente de uniformidad</b>	<b>91,43</b>	<b>85,31</b>
Promedio (ml)	70	52,75
Radio del recipiente (m)	0,06	0,06
Área del recipiente (m <sup>2</sup> )	0,01	0,01
Tiempo (h)	0,02	0,02
Lamina (mm)	7,00	5,28
<b>Vel. Apli. (mm/h)</b>	<b>420,00</b>	<b>316,50</b>

El agua total que ingreso al lisímetro A expresado en mm fue 682,27 y en la parcela B fue 538,75. Es importante mencionar que como periodo de estudio se está tomando en cuenta desde el 14 de marzo hasta el 31 de julio, y no el tiempo que tomó que se tuvo que esperar para que el césped lograra una cobertura total en las parcelas experimentales. Dicho tiempo fue alrededor de un mes (15 de febrero hasta el 13 de marzo). Es importante acotar que luego de la limpieza de los filtros internos de los emisores de riego es necesario volver a realizar las pruebas de uniformidad a nivel de toda la parcela experimental y el área que ocupa el lisímetro.

Los registros de todos los eventos de riego se muestran en la Tabla 18, la Figura 57 y la Figura 58.

### **5.5.2. PRECIPITACIÓN**

La precipitación registrada a lo largo de la investigación fue 0 mm/día en su mayoría, con excepción de ciertos días en lo que se registró 0,25 mm/día. Dichos valores se presentaron en los meses de junio y julio. La precipitación total durante el periodo de la investigación fue 2 milímetros. El registro de esta variable se detalla en la Tabla 18, la Figura 57 y la Figura 58.

### **5.5.3. DRENAJE**

Los valores máximos del drenaje se presentaron en la primera etapa, porque se acumularon riegos, mientras que a partir del 15 de abril se reducen notoriamente a valores de 5 mm en promedio. El drenaje acumulado en el periodo de estudio para la parcela A fue de 212,9 mm y en el caso de la parcela B fue 138,3 mm. De esta manera se evidencia que en ambas parcelas el comportamiento del suelo no fue el mismo debido a sus propiedades hídricas. Los registros de los drenajes realizados a lo largo de la investigación se muestran en la Tabla 18, la Figura 57 y la Figura 58.

### **5.5.4. VARIACIÓN DE HUMEDAD EN EL SUELO**

Las variaciones de humedad en el suelo se realizaron utilizando dos sensores distintos, los tensiómetros y los sensores Watermark. Por tanto, se obtuvieron dos variaciones de humedad por cada parcela. Se instaló un tensiómetro por cada parcela experimental, y en el caso de los sensores Watermark se utilizó el promedio de los dos sensores ubicados por parcela con el propósito de un mejor manejo de los datos monitoreados a lo largo de la investigación. Por cada tipo sensor se obtuvieron curvas de relación entre la presión (cbar) y la cantidad de agua que en mm, curvas que corresponden a la Figura 55 y Figura 56. Las variaciones promedio de humedad expresadas en lámina utilizando el tensiómetro y los sensores Watermark fueron cercanos a cero debido a que se trabajó en condiciones cercanas a capacidad de campo. Cabe resaltar que dichas variaciones de humedad reflejan las diferentes medidas en los tensiómetros y los sensores Watermark las cuales fueron en su mayoría menores a 30 cbar para ambos sensores de humedad, debido a que se buscó determinar el

Kc en condiciones óptimas, es decir, mantener el suelo a las condiciones más cercanas a capacidad de campo. En la Tabla 18, Figura 57 y la Figura 58 se indican los valores de humedad monitoreados por cada sensor.

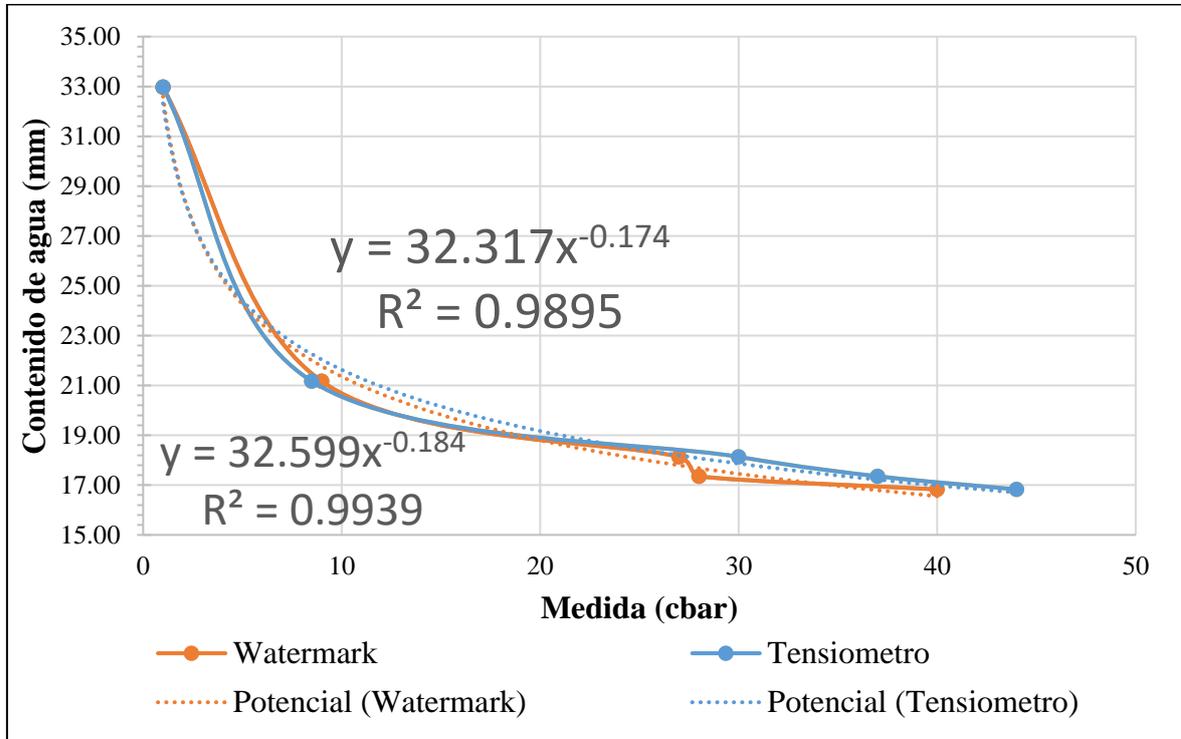


Figura 55: Curvas de relación cbar y contenido de humedad en mm para la parcela A

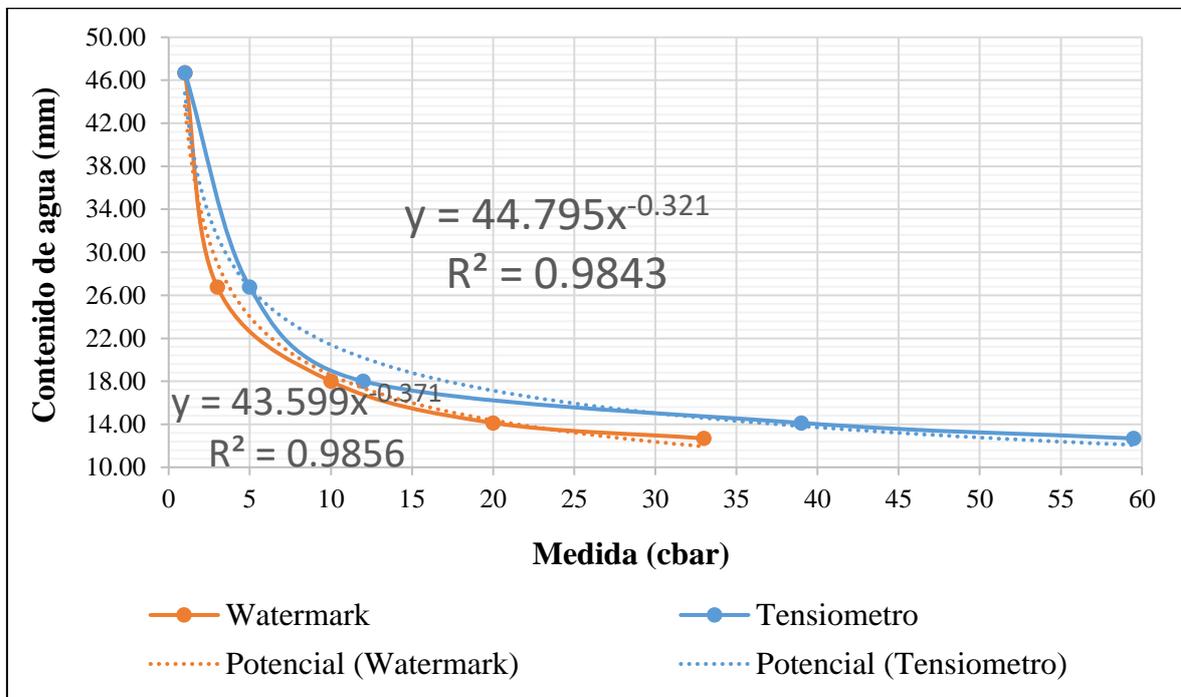


Figura 56: Curvas de relación cbar y contenido de humedad en mm para la parcela B

### **5.5.5. EVAPOTRANSPIRACIÓN DEL CULTIVO BAJO CONDICIONES ESTÁNDAR (ETc)**

El cálculo de la ETc se obtuvo de utilizar la ecuación de balance hídrico en el suelo. Para poder realizar dicho balance se utilizó la información presentada en la Figura 57 y Figura 58. En dichas figuras se observa que el tratamiento para cada parcela experimental fue distinto en términos de riego, drenaje y variación de humedad en el suelo. Ello se debe a que cada parcela tuvo un comportamiento distinto en lo que refiere a sus características del suelo y el riego. Ello se puede notar en que los valores de drenaje en la parcela B fueron menores a los registrados en la parcela A, dicha diferencia se justifica porque en la parcela A se brindó un mayor riego porque la velocidad de aplicación era mayor debido a regulación del radio y ángulo de riego del emisor. Las variaciones de humedad en el suelo fueron próximas a cero, porque las condiciones de humedad estuvieron cercanas a capacidad de campo.

A continuación se muestran todos los datos utilizados para la determinación de la ETc. De forma numérica (Tabla 18) y grafica (Figura 57 y Figura 58).

En la Tabla 18 se aprecian todos los valores de las variables utilizadas para la obtención del Kc.

La unidad de medida es mm.

**Tabla 18: Variables registradas para la obtención del Kc**

Fecha	PP	Lisímetro A						Lisímetro B						ETo	Kc A		Kc B	
		R	AD	VHT	VHW	ETc T	ETc W	R	AD	VHT	VHW	ETc T	ETc W	Tanque	T	W	T	W
14-Mar-16	0,00	37,3	11,25	1,42		24,67		31,6	8,13	0,00		23,52		4,38	0,91		0,86	
15-Mar-16														3,87				
16-Mar-16														3,80				
17-Mar-16														3,97				
18-Mar-16														3,73				
19-Mar-16														3,73				
20-Mar-16														3,73				
21-Mar-16	0,00	73,5	27,05	2,30	2,59	44,15	43,86	58,0	15,10	2,44	1,69	40,48	41,24	6,52	0,88	0,88	0,81	0,82
22-Mar-16														3,41				
23-Mar-16														4,34				
24-Mar-16														4,34				
25-Mar-16														4,34				
26-Mar-16														2,94				
27-Mar-16														2,94				
28-Mar-16														3,60				
29-Mar-16														4,59				
30-Mar-16														4,96				
31-Mar-16														3,47				
1-Abr-16														4,62				

Continuación

2-Abr-16	0,00	28,0	10,07	2,40	2,03	15,54	15,91	26,4	6,92	3,68	3,90	15,77	15,56	4,62	0,97	0,99	0,98	0,97
3-Abr-16														4,62				
4-Abr-16														4,08				
5-Abr-16														2,73				
6-Abr-16	0,00	66,5	33,03	2,00	2,04	31,47	31,44	58,0	27,99	1,17	2,31	28,86	27,72	5,27	0,99	0,99	0,91	0,88
7-Abr-16														2,22				
8-Abr-16														2,92				
9-Abr-16														2,92				
10-Abr-16														2,92				
11-Abr-16														3,90				
12-Abr-16														1,40				
13-Abr-16														3,41				
14-Abr-16														3,41				
15-Abr-16														3,29				
16-Abr-16	0,00	17,5	5,88	2,31	2,50	9,31	9,12	13,2	1,31	2,93	2,90	8,95	8,97	3,29	0,77	0,76	0,74	0,74
17-Abr-16														3,29				
18-Abr-16														2,97				
19-Abr-16														2,52				
20-Abr-16	0,00	56,0	30,46	0,03	0,84	25,51	24,70	51,0	25,69	0,00	0,73	25,30	24,57	3,11	0,94	0,91	0,93	0,90
21-Abr-16														2,54				
22-Abr-16														2,96				
23-Abr-16														2,96				
24-Abr-16														2,96				
25-Abr-16														3,28				
26-Abr-16														3,73				
27-Abr-16														2,70				
28-Abr-16														3,04				

Continuación

29-Abr-16														2,64				
30-Abr-16														2,64				
1-May-16														2,64				
2-May-16	0,00	47,8	29,16	0,77	1,13	17,90	17,54	36,0	17,82	0,35	0,20	17,87	18,02	3,87	0,74	0,73	0,74	0,75
3-May-16														2,34				
4-May-16														4,01				
5-May-16														3,37				
6-May-16														2,61				
7-May-16														2,61				
8-May-16														2,61				
9-May-16														3,21				
10-May-16	0,00	38,5	18,63	2,01	1,67	17,87	18,20	31,6	12,21	1,97	1,37	17,47	18,07	3,70	0,95	0,96	0,93	0,96
11-May-16														2,76				
12-May-16														2,42				
13-May-16														1,57				
14-May-16														1,57				
15-May-16														1,57				
16-May-16														2,92				
17-May-16														1,74				
18-May-16														2,18				
19-May-16	0,00	48,8	24,89	1,39	1,00	22,49	22,87	36,7	16,29	0,76	0,75	19,70	19,72	2,62	0,99	1,01	0,87	0,87
20-May-16														1,49				
21-May-16														1,49				
22-May-16														1,49				
23-May-16														1,44				
24-May-16														4,19				
25-May-16	0,00	32,7	21,16	1,57	1,03	9,94	10,48	24,6	14,77	1,14	1,24	8,71	8,61	1,82	0,87	0,92	0,76	0,75

Continuación

26-May-16															1,41				
27-May-16															1,84				
28-May-16															1,84				
29-May-16															1,84				
30-May-16															1,38				
31-May-16															1,29				
1-Jun-16															1,04				
2-Jun-16															1,73				
3-Jun-16															2,04				
4-Jun-16	0,25	39,7	28,56	0,90	0,54	10,45	10,81	29,9	22,21	0,54	0,54	7,40	7,40	2,04	0,86	0,89	0,61	0,61	
5-Jun-16														2,04					
6-Jun-16														1,75					
7-Jun-16														1,56					
8-Jun-16														2,55					
9-Jun-16														1,17					
10-Jun-16														1,66					
11-Jun-16	0,00	30,9	18,44	0,51	0,62	11,97	11,86	23,3	11,81	0,40	0,60	11,08	10,89	1,66	0,91	0,90	0,84	0,82	
12-Jun-16														1,66					
13-Jun-16														1,23					
14-Jun-16														3,28					
15-Jun-16														0,73					
16-Jun-16														1,84					
17-Jun-16														0,89					
18-Jun-16	0,75	26,8	20,06	0,56	0,86	6,96	6,66	20,2	14,01	0,65	0,82	6,31	6,14	0,75	0,88	0,84	0,80	0,78	
19-Jun-16														0,75					
20-Jun-16														0,75					
21-Jun-16														0,36					

Continuación

22-Jun-16														0,29				
23-Jun-16														0,38				
24-Jun-16														1,15				
25-Jun-16														1,15				
26-Jun-16														1,15				
27-Jun-16	0,00	9,3	5,88	0,46	0,00	3,00	3,46	7,0	3,75	0,00	0,00	3,28	3,28	0,82	0,74	0,86	0,81	0,81
28-Jun-16														0,45				
29-Jun-16														0,45				
30-Jun-16														1,56				
1-Jul-16														1,56				
2-Jul-16														1,56				
3-Jul-16	0,00	17,5	8,47	0,90	0,78	8,14	8,25	13,2	5,13	0,98	1,01	7,09	7,05	1,56	0,73	0,74	0,63	0,63
4-Jul-16														4,57				
5-Jul-16														0,41				
6-Jul-16														0,64				
7-Jul-16														1,03				
8-Jul-16														0,54				
9-Jul-16	0,75	18,1	15,28	0,30	0,44	3,25	3,11	13,6	10,19	0,54	0,60	3,65	3,59	0,54	0,69	0,66	0,78	0,76
10-Jul-16														0,54				
11-Jul-16														0,90				
12-Jul-16														0,50				
13-Jul-16														1,03				
14-Jul-16														0,59				
15-Jul-16														1,02				
16-Jul-16	0,25	14,0	11,06	0,30	0,35	2,89	2,84	10,6	7,34	0,54	0,40	2,92	3,05	1,02	0,51	0,51	0,52	0,54
17-Jul-16														1,02				
18-Jul-16														0,18				

Continuación

19-Jul-16														0,76				
20-Jul-16														0,90				
21-Jul-16														0,72				
22-Jul-16														0,96				
23-Jul-16	0,00	12,8	9,06	0,50	0,49	3,27	3,28	9,7	4,56	0,91	0,70	4,20	4,41	0,96	0,49	0,49	0,63	0,66
24-Jul-16														0,96				
25-Jul-16														0,44				
26-Jul-16														1,77				

A continuación se muestra el significado de los encabezados de las columnas en la tabla presentada.

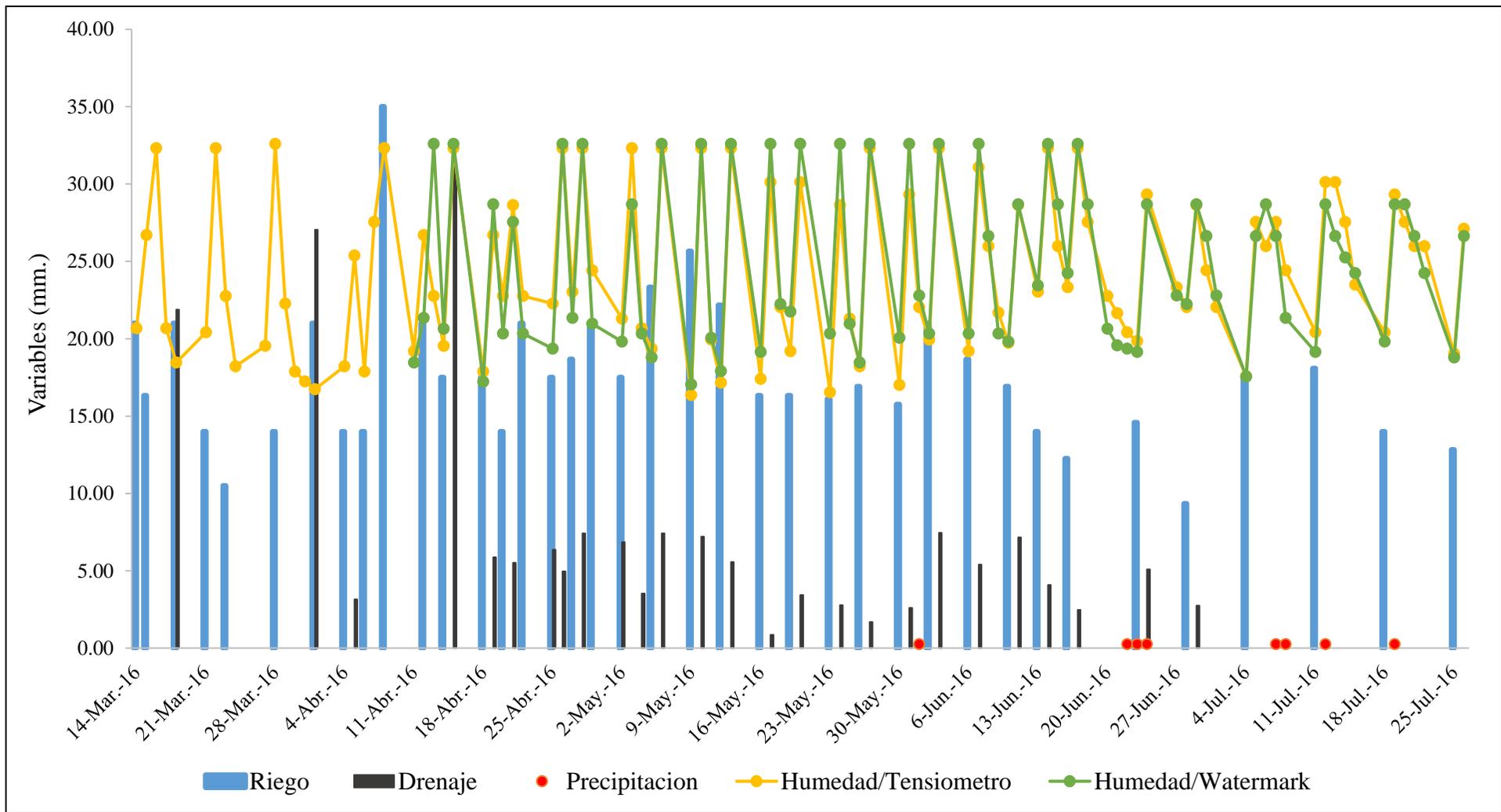
PP: Precipitación (mm), R: Riego (mm), AD: Agua drenada (mm)

VHT: Variación de humedad considerando el tensiómetro (mm), VHW: Variación de humedad considerando el promedio de los sensores Watermark (mm)

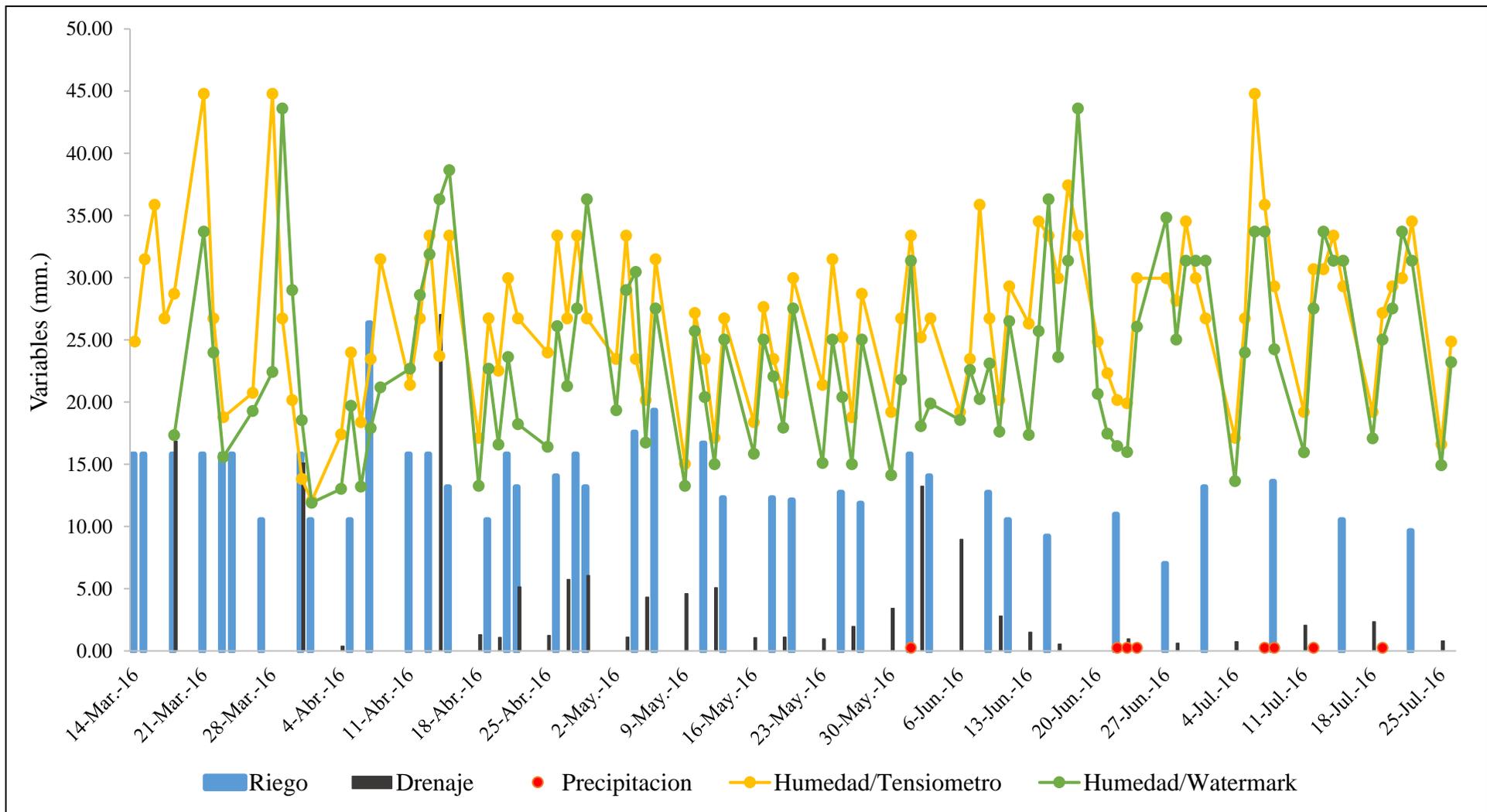
ETc T: Evapotranspiración del cultivo en condiciones estándar en función a la VHT, ETc W: Evapotranspiración del cultivo en condiciones estándar en función a la VHW

ETo: Evapotranspiración potencial.

Kc/T: Coeficiente del cultivo en función a la información obtenida del tensiómetro, Kc/W: Coeficiente del cultivo en función a la información obtenida del sensor Watermark.

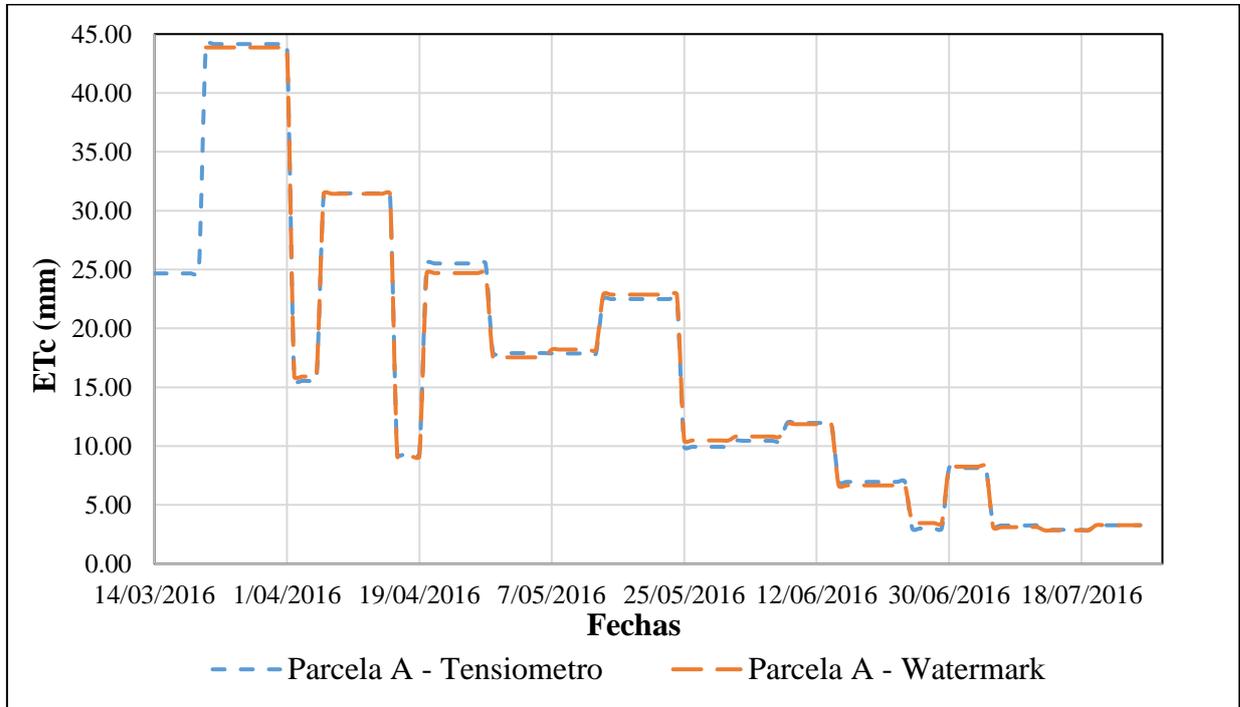


**Figura 57: Variables monitoreadas para el balance hídrico en el suelo en la parcela A**

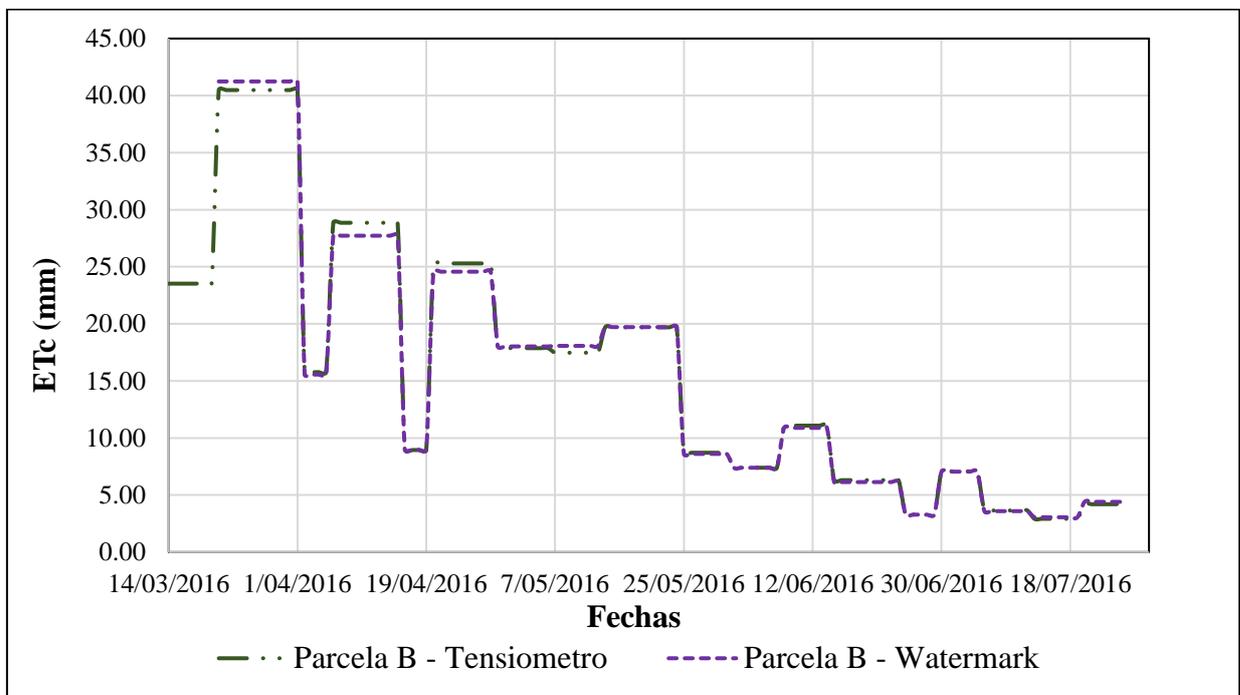


**Figura 58: Variables monitoreadas para el balance hídrico en el suelo en la parcela B**

Al tener todas las variables para la ecuación de balance hídrico en el suelo en una misma unidad (mm) se procede a determinar la E<sub>Tc</sub> en periodos de tiempo. Los resultados se muestran en la Tabla 18, la Figura 59 y Figura 60.



**Figura 59: Valores de E<sub>Tc</sub> en función al tipo de sensor de humedad en la parcela A**



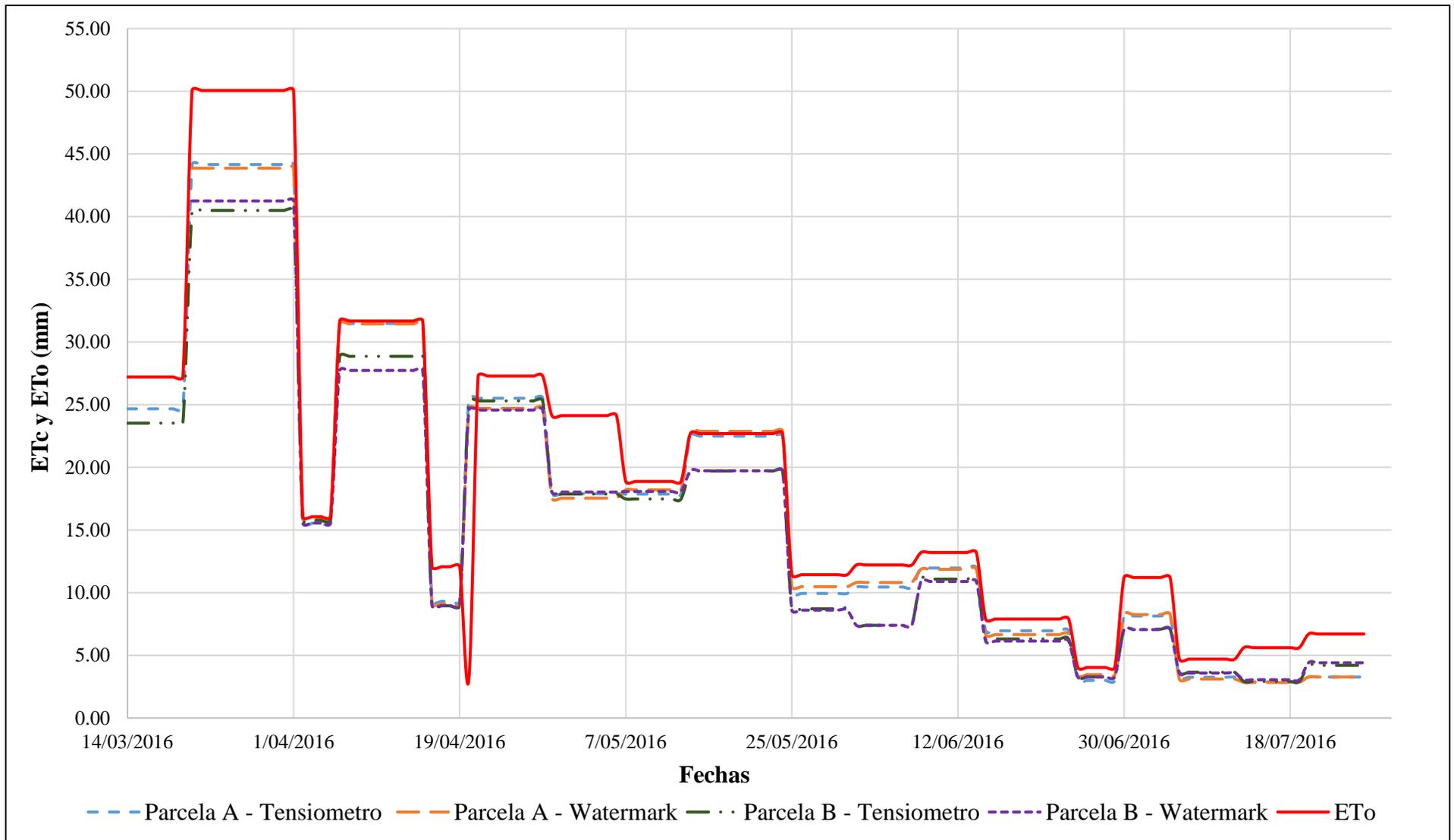
**Figura 60: Valores de E<sub>Tc</sub> en función al tipo de sensor de humedad en la parcela B**

Los balances hídricos se realizaron cada 7 o 10 días en su mayoría. Las diferencias entre los balances considerando cada tipo de sensor de humedad son mínimas, porque comparten una tendencia muy similar.

## **5.6. COEFICIENTE DE CULTIVO**

El coeficiente de cultivo del césped americano se obtuvo al relacionar el valor de la ET<sub>c</sub> y la ET<sub>o</sub>. Por tanto, en la Figura 61 se aprecia la relación entre ambas variables, de donde se puede observar que los valores de ET<sub>c</sub> siempre han sido menores que los valores de ET<sub>o</sub>, por lo cual los valores de K<sub>c</sub> del césped americano fueron cercano o menores a la unidad en todo el periodo de estudio.

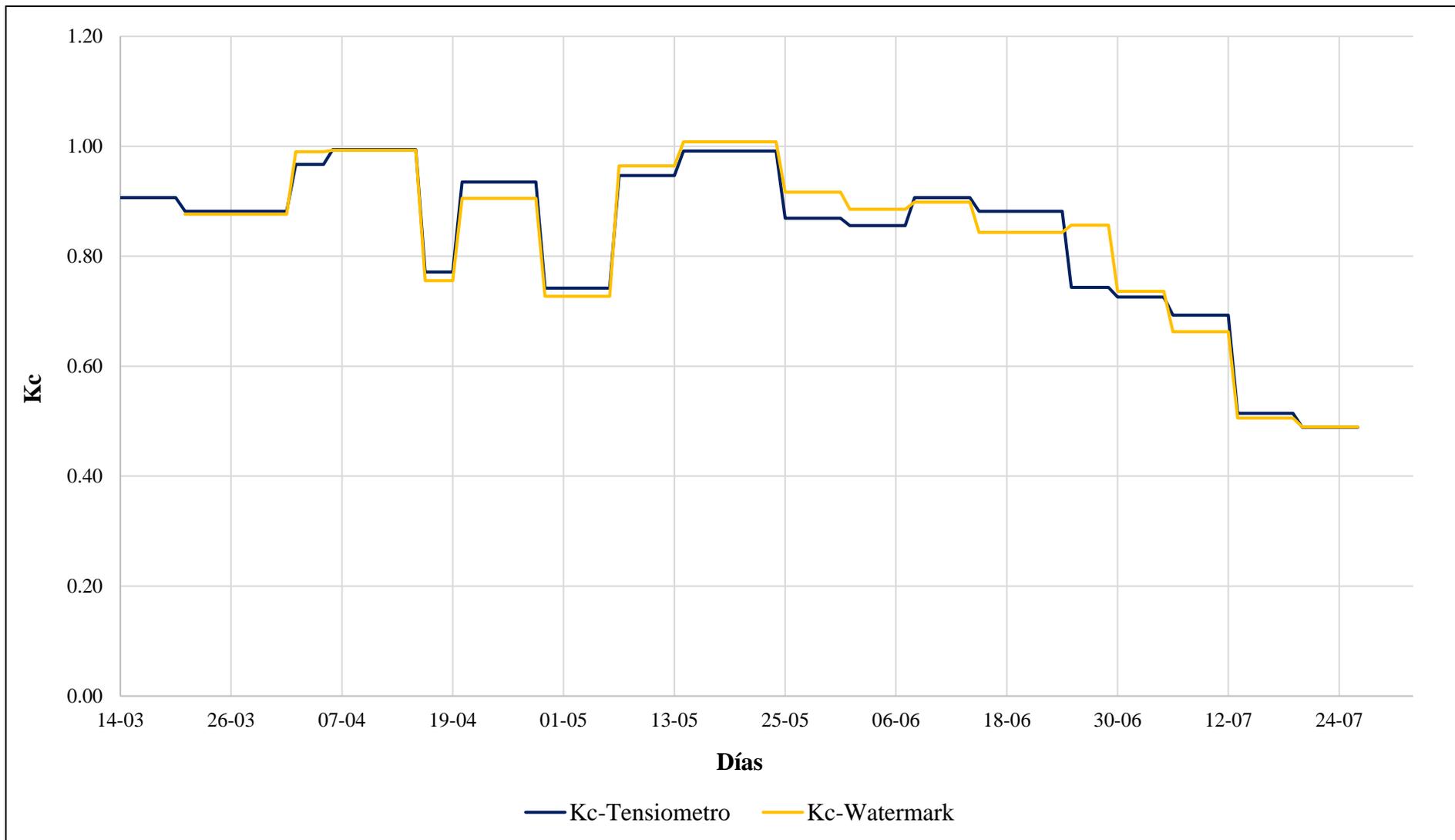
Teniendo como base la Figura 61 es posible obtener el coeficiente de cultivo del césped americano. Se obtuvieron dos coeficientes de cultivo distintos por cada parcela debido a que se utilizaron dos tipos de sensores de humedad. Dichos coeficientes se muestran en la Figura 62 y Figura 63.



**Figura 61: Relación entre la ETC y ETo (mm) monitoreados durante la investigación**

En la Figura 62 se presentan los coeficientes de cultivo obtenidos en la parcela A diferenciando el sensor de humedad utilizado en el cálculo del Kc. En dicha figura se evidencia que la tendencia de los coeficientes de cultivo ha ido variando en función al cambio estacional que se evidencia en el decrecimiento de la ETo a lo largo de los meses de estudio. Entre los Kc resultantes de acuerdo a cada tipo de sensor se puede notar que el Kc máximo considerando el tensiómetro (0,99) se dio en el mes de abril. El máximo valor de Kc considerando el sensor Watermark (1,01) se dio en el mes mayo.

El valor mínimo de Kc (0,49) en la parcela A considerando el tensiómetro se dio en el mes de julio. En el caso del sensor Watermark el valor mínimo de Kc (0,49) se presentó en el mismo mes.

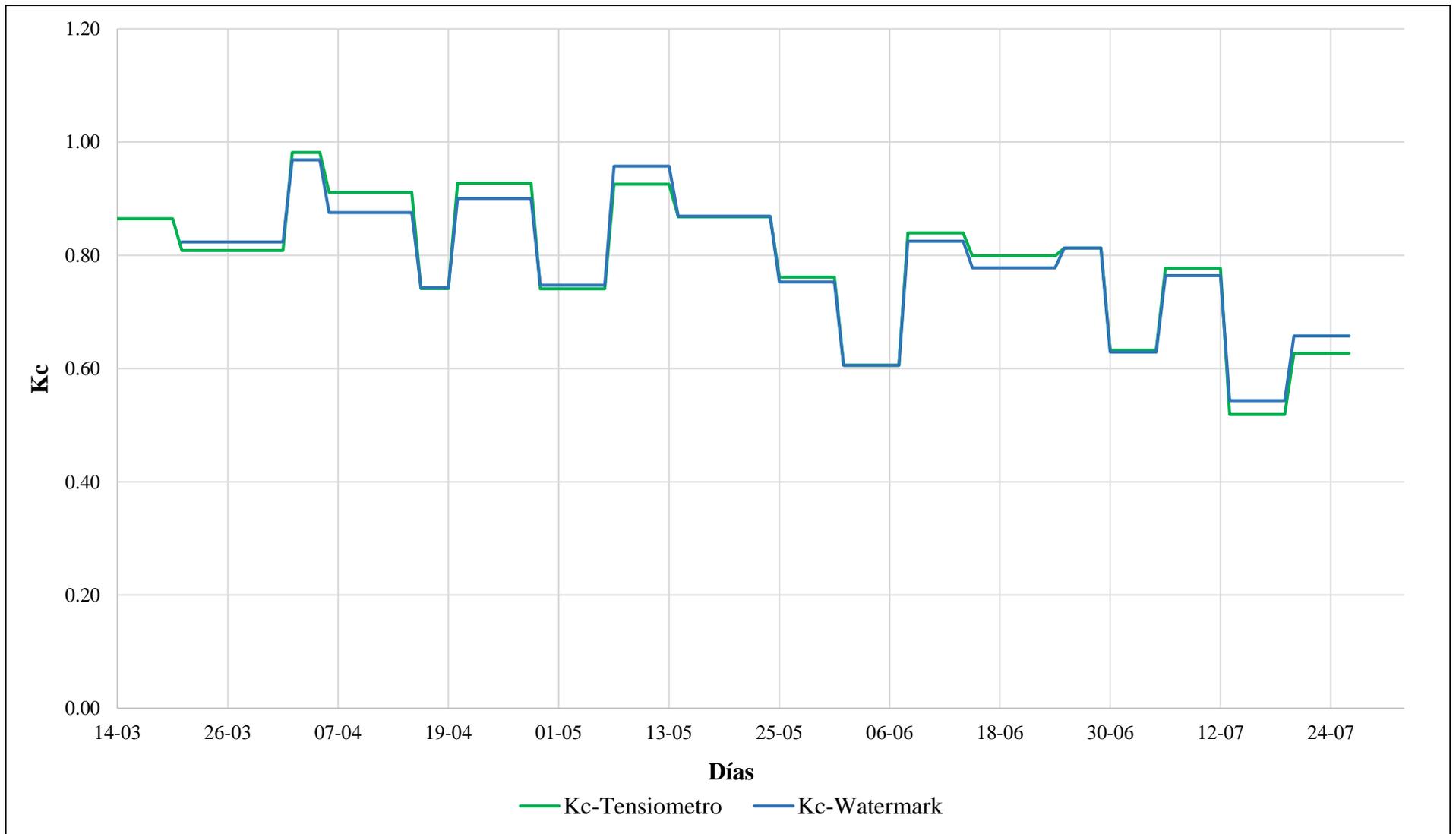


**Figura 62: Coeficientes de cultivo obtenidos en la parcela A**

En la Figura 63 se muestran los coeficientes de cultivo en la parcela B. Entre los Kc resultantes en función a cada tipo de sensor se puede notar que el Kc máximo considerando el tensiómetro (0,98) se dio en el mes de abril, lo cual es correspondido por el Kc obtenido a partir del sensor Watermark (0,97) en el mes de abril.

El valor mínimo de Kc (0,52) en la parcela B considerando el tensiómetro se dio en el mes de julio. Con respecto al sensor Watermark el valor mínimo de Kc (0,54) se presentó en el mismo mes.

Al realizar el análisis de los Kc obtenidos por cada tipo de sensor en la parcela B en función a los meses de investigación se distingue que los Kc obtenidos a partir de los sensores Watermark fueron similares a los determinados en base al tensiómetro.



**Figura 63: Coeficientes de cultivo obtenidos en la parcela B**

Los valores de Kc del césped americano determinados a nivel mensual se presentan en la Tabla 19 considerando los tipos de sensores de humedad utilizados (tensiómetro y Watermark).

**Tabla 19: Valores de Kc del césped americano a nivel mensual**

Mes	Lisímetro A		Lisímetro B		Promedio		Promedio
	T*	W**	T*	W**	T*	W**	total
Marzo	0,89	0,88	0,83	0,82	0,86	0,85	0,86
Abril	0,92	0,91	0,89	0,87	0,91	0,89	0,90
Mayo	0,91	0,92	0,83	0,84	0,87	0,88	0,88
Junio	0,85	0,86	0,76	0,75	0,81	0,81	0,81
Julio	0,60	0,59	0,64	0,65	0,62	0,62	0,62

(\*) T significa datos obtenidos a partir de los tensiómetros.

(\*\*) W significa datos obtenidos a partir de los sensores Watermark.

Se tienen coeficientes de cultivo de acuerdo a cada tipo de sensor de humedad utilizado en el estudio. Por tanto, se debe seleccionar los valores de Kc más confiables de acuerdo al tipo de sensor de humedad, lo cual será el principal motivo para optar por un Kc.

En lo que refiere a la practicidad en el uso de los sensores de humedad es importante señalar que los sensores Watermark presentan menor dificultad que los tensiómetros, porque estos últimos exigen un control del agua depositada en el interior de sus cuerpos para su funcionamiento. Precisamente, esa característica implica que se requiera mayores controles, en especial en los primeros meses (febrero, marzo y abril) porque demandó una recarga de agua en su interior cada 15 días.

De similar manera partiendo del diseño de los sensores de humedad los tensiómetros son más proclives a sufrir daños o alteraciones durante el manejo del cultivo en la superficie, actividades como la poda, el muestreo del suelo e incluso la viabilidad de las personas son condicionadas por los tensiómetros. Por el contrario, los sensores Watermark están enterrados y no ocasionan mayores problemas. Durante la investigación se presentaron ciertas dificultades principalmente al podar el césped, porque el tensiómetro no facilitaba el uso de podadoras manuales para agilizar dicha actividad de manejo.

Otro aspecto que se tomó en cuenta fue la confiabilidad en las lecturas de los sensores de humedad. En el caso de los sensores Watermark no hubo problemas porque solo se registraba los valores mostrados en el medidor digital. Pero en el caso de los tensiómetros la lectura se realiza en el vacuometro, que no cuenta con una escala muy exacta desde 0 a 10 cbar. Es por ello que para una investigación en la que se realiza un balance hídrico en el suelo no es favorable tener que aproximar las lecturas y en especial de 0 a 10 cbar, debido a que es en ese rango de resistencia donde cada cbar representa una cantidad significativa de lámina de agua en el suelo.

Como ultima diferencia entre los sensores Watermark y tensiómetros, se debe mencionar el costo económico que implica adquirir cada uno de los sensores. El precio de cada sensor Watermark fue de S/ 224,00 mientras que un tensiómetro costo S/ 416,00. Es importante mencionar que el sensor Watermark requiere de un medidor digital para su lectura.

Por las razones expuestas se infirió trabajar con los valores obtenidos a partir de los sensores Watermark. Por ello se promediaron los valores de Kc obtenidos en las dos parcelas considerando el uso del sensor Watermark. Dichos resultados se sometieron a un análisis estadístico considerando un nivel de aproximación de 68 por ciento, es decir la desviación estándar y el promedio a nivel mensual de los Kc. Con esa consideración se obtienen los límites superiores (LS) e inferiores (LI) en cada mes de estudio. Dicho análisis se muestra en la Figura 64.

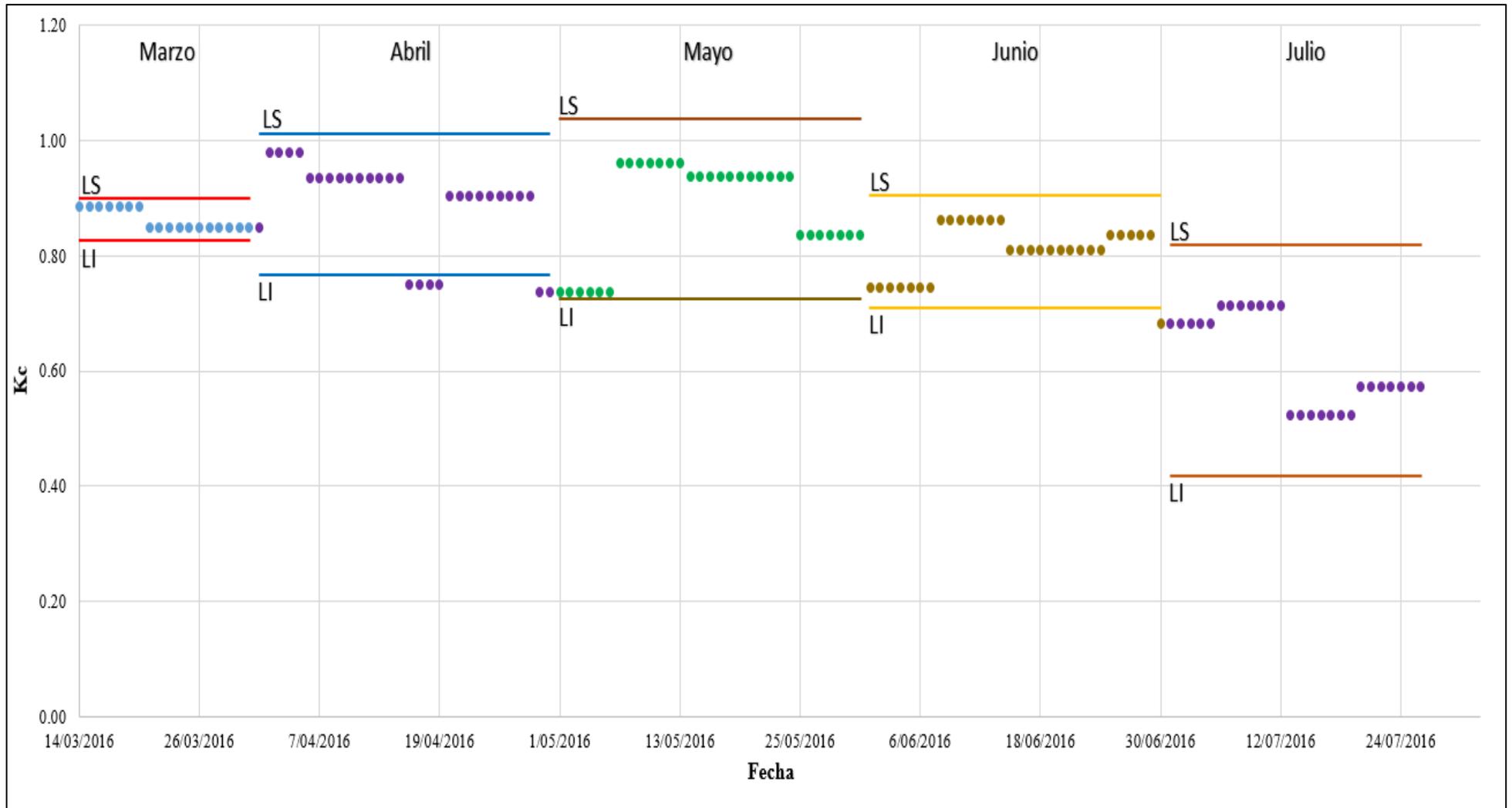


Figura 64: Análisis estadístico a los valores de Kc obtenidos en la investigación considerando una aproximación al 68 por ciento

De la Figura 64 se puede inferir que los coeficientes de cultivo del césped americano están dentro de los límites estadísticos considerando una aproximación al 68 por ciento, salvo algunos datos en los meses de abril y junio. En la Tabla 20 se aprecian los límites superiores e inferiores tomados en cuenta por cada mes de investigación.

**Tabla 20: Límites superior e inferior considerando una aproximación al 68 por ciento para cada mes durante la investigación**

Mes	Promedio	Desviación Est,	Límite superior (LS)	Límite inferior (LI)
Marzo	0,86	0,04	0,90	0,83
Abril	0,89	0,12	1,01	0,77
Mayo	0,88	0,16	1,04	0,72
Junio	0,81	0,10	0,90	0,71
Julio	0,62	0,20	0,82	0,42

Por tanto, el Kc del césped americano (*Stenotaphrum secundatum*) se sintetiza en la Tabla 21, donde se distinguen las variaciones existentes del Kc del césped americano en función al tiempo. Se distingue que para la gramínea en estudio las necesidades hídricas de la planta varían de acuerdo a las condiciones meteorológicas. Es importante señalar los valores promedios mensuales de Kc obtenidos en la investigación son menores a la unidad. Así mismo al comparar los resultados obtenidos con la conclusión de Wherley en el año 2015, la que indica un coeficiente de cultivo para el césped de 0,6, se puede aseverar que el Kc del *Stenotaphrum secundatum* varía de acuerdo al lugar donde se presente. Ello se justifica porque el valor obtenido por Wherley se ajusta a las condiciones meteorológicas específicas del sudeste en los Estados Unidos de América.

**Tabla 21: Coeficientes de cultivo del césped americano en cada mes de la investigación**

Mes	Coeficientes de cultivo para el césped americano
Marzo	0,86
Abril	0,89
Mayo	0,88
Junio	0,81
Julio	0,62

Para demostrar la importancia de los coeficientes de cultivos del césped americanos se simuló la demanda hídrica de una hectárea cubierta con césped americano para los meses de abril y julio. En el caso del mes de abril se registró una ETo mensual de 97,74 mm para condiciones meteorológicas de La Molina, por lo que la demanda hídrica en una hectárea cubierta de césped americano considerando un Kc de 1 sería de 977,40 metros cúbicos de agua, pero al considerar el Kc obtenido en el estudio (0,89) la demanda hídrica sería 869,89 metros cúbicos reduciéndose el uso del agua en 107,51 m<sup>3</sup> por una hectárea. Al realizar el mismo ejercicio se obtiene los resultados que se muestran en la Tabla 22.

**Tabla 22: Ahorro de agua considerando los Kc obtenidos en la investigación y el Kc recomendado por la FAO**

Mes	ETo (mm/mes)	Datos de la FAO			Resultados de la investigación			Ahorro de agua (m <sup>3</sup> /ha)
		Kc	ETc (mm/mes)	D,H,* cultivo (m <sup>3</sup> /ha)	Kc obtenido	ETc (mm/mes)	D,H,* cultivo (m <sup>3</sup> /ha)	
Marzo	117,98	1	117,98	1179,8	0,86	101,92	1019,20	160,60
Abril	97,74	1	97,74	977,4	0,89	87,01	870,07	107,33
Mayo	71,84	1	71,84	718,4	0,88	63,30	633,03	85,37
Junio	38,9	1	38,9	389	0,81	31,40	313,98	75,02
Julio	35,53	1	35,53	355,3	0,62	21,99	219,93	135,37
Ahorro de agua en todo el periodo de estudio (m <sup>3</sup> /ha)								563,69

(\*) Demanda hídrica

En la Tabla 22 se muestran distintos valores de ahorro de agua (m<sup>3</sup>/ha) en relación a cada mes. Se distingue por ejemplo que a pesar de que en el mes de julio la diferencia entre el Kc determinado en la investigación y el comúnmente utilizado (1) es mayor a la variación de Kc en el mes de marzo, ello no se refleja en la reducción del uso del agua en una hectárea. Porque como se demuestra en el mes de marzo el ahorro de agua es mayor que en el mes de julio. Fundamentalmente ello se explica debido a que el Kc es un coeficiente y se relaciona con la ETo para precisar la ETc, es decir no es determinante en el ahorro de agua y tiene mayor importancia en los meses de verano.

Al extrapolar el valor de ahorro de agua obtenido en todo el periodo de estudio (563,69 m<sup>3</sup>/ha) en todas las áreas ocupadas por jardines en la UNALM (19,66 ha) se obtiene que el ahorro de agua desde el mes de marzo hasta julio sería de 11 082,19 m<sup>3</sup> de agua.

## VI. CONCLUSIONES

En base a los resultados de la investigación se obtuvo que los valores del coeficiente de cultivo para el césped americano (*Stenotaphrum secundatum*) fueron los siguientes valores: marzo (0,86), abril (0,89), mayo (0,88), junio (0,81) y julio (0,62). Por tanto, el coeficiente de cultivo del césped americano es menor a la unidad. Así mismo, se evidencia que el Kc del césped americano fluctuó en función a las variaciones climatológicas, siendo menor en los meses de junio y julio con respecto a los otros meses de estudio. Los valores de Kc del césped americano representan un ahorro de 11 082,19 m<sup>3</sup> de agua para las 19,66 ha en la UNALM.

El diseño del lisímetro incluyó una serie de componentes sencillos y económicos como los siguientes: maceta de polipropileno, tubos de PVC, tapas de plástico y un recipiente de almacenamiento. El diseño contempló una bomba manual de succión para cuantificar el agua drenada. La confiabilidad del lisímetro fue óptima dado que en el análisis estadístico los valores de coeficiente de cultivo estuvieron dentro de los límites superior e inferior de los Kc. Por otro lado, la estabilidad del lisímetro no presentó ningún problema en el proceso constructivo del dispositivo. Desde un punto de vista económico se concluye que los lisímetros de drenaje presentados en la investigación fueron 44% más baratos que un lisímetro de pesada. Adicionalmente, al realizar la prueba hidráulica del lisímetro se obtuvo una eficiencia del 97 por ciento. Por tanto, el lisímetro diseñado en la investigación fue una herramienta sencilla, barata y accesible para su utilización en la determinación de Kc para el césped americano.

Las variables climáticas monitoreadas fueron las siguientes: evapotranspiración potencial, temperatura máxima y mínima, humedad relativa, velocidad del viento y radiación solar. La evapotranspiración potencial que se consideró para la determinación del Kc del césped americano fue obtenida del tanque evaporímetro clase A. Los valores monitoreados de ETo reflejaron una variación en función al cambio estacional, siendo el mínimo 0,18 mm/día (julio) y el máximo 6,52 mm/día (marzo). La temperatura tuvo una tendencia decreciente, dado que la temperatura máxima fue 30,8°C (marzo) y la mínima fue 13,7°C (junio). La

radiación solar, presentó un valor máximo de 18,52 MJ m<sup>-2</sup>/día (marzo) y mínimo de 2,43 MJ m<sup>-2</sup>/día (julio). La humedad relativa exhibió una tendencia inversa a las variables meteorológicas descritas, porque el valor máximo fue 91,17 por ciento (junio) y el mínimo de 76,7 por ciento (marzo). La velocidad del viento a 2 metros de altura mostró un máximo de 1,26 m/s (marzo) y sus mínimos valores de 0,82 m/s (mayo y junio), puesto que esta variable está relacionada a los cambios de la temperatura.

Considerando el comportamiento de las variables climáticas durante el día, se concluye que las horas propicias para el riego son a partir de las 0:00 hasta las 8:00 am porque en dicho intervalo de tiempo no se altera el proceso fotosintético del césped, se reducen pérdidas de agua por evaporación y en caso se utilice riego por aspersion no habrán problemas de los radios y ángulos de riego por distorsión del viento.

La estación meteorológica proporcionó valores de ETo a través de la ecuación FAO Penman – Monteith, los cuales son válidos para su utilización en cualquier estudio. Para ellos se analizaron los datos meteorológicos de la estación con respecto a los del tanque evaporímetro, y se consideraron los siguientes parámetros: coeficiente de Nash – Sutcliffe (0,76), el error medio cuadrático (0,65) y la desviación media (-0,18).

Los balances hídricos en el suelo dependieron de los siguientes equipos: sensores de humedad, difusores de riego, la estación meteorológica automática y el lisímetro. Los sensores de humedad utilizados fueron los tensiómetros y los sensores Watermark, siendo estos últimos los más adecuados.

## **VII. RECOMENDACIONES**

Utilizar sensores de Watermark para realizar balances hídricos en el suelo.

Continuar con la metodología para todo el año y de esa manera definir los coeficientes de cultivo del césped americano en función a las estaciones climatológicas.

Plantear la investigación de otras variedades de césped.

Repetir el experimento considerando otras condiciones meteorológicas.

Realizar comparaciones del lisímetro de drenaje planteado en la investigación con respecto a un lisímetro de pesada, considerando el mismo tipo de suelo y las mismas condiciones meteorológicas para un mismo cultivo.

## VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Allen, G. R.; Pereira, L.; Raes, D.; Smith, M. 2006. Estudio FAO Riego y drenaje 56. Evapotranspiración del cultivo: Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. Serie Cuadernos Técnicos. Roma, Italia. FAO. 298 p.
- Alcaraz, F; Clemente, M; Barreña, J; Álvarez, R. 2012. Manual de teoría y práctica de Geobotánica. ICE Universidad de Murcia y Diego Marín. Murcia, España. 20: 1-8.
- Bochetti, M. 2010. Análisis comparativo de la evapotranspiración obtenida mediante distintas ecuaciones empíricas aplicadas a la zona agrícola de Chillan. Tesis Ing. Civil, Concepción, Chile, Universidad Católica de la Santísima Concepción. 21 – 32 P.
- Cabrera, J. 2012. Calibración de modelos hidrológicos. Instituto para la Mitigación de los Efectos del Fenómeno El Niño, Universidad Nacional de Ingeniería, Facultad de Ingeniería Civil, Perú.
- Catálogo de sensores de humedad Irrometer Company. 2012.
- Davis. 2012. Manual de la consola Vantage pro 2. 96 p.
- Eisenberg, B; Nemcova, E; Poblet, R; Stokman, A. 2014. Lima Ecological Infrastructure Strategy, Integrated Urban Planning and Design Tools for a Water-Scarce City. University of Stuttgart. GER. 313 P.
- Flores, S. 2011. Informe final de práctica profesional: Estimación de biodiversidad urbana para la región Metropolitana. Santiago, Chile: Ingeniería en Recursos Naturales Renovables, Universidad de Chile.
- INEI (Instituto Nacional de Estadística e Informática). 2014. Población y territorio. p. 6-9. Boletín Estado de la Población Peruana.

- Khan, Luis; Gil, José; Acosta, Ricardo. 1998. Diseño y funcionamiento de un lisímetro hidráulico para medición de la evapotranspiración potencial. *Biagro*. 10: 11-17.
- Lavado, W; Lhomme, J; Labat, D; Loup Guyot, J; Boulet, G. 2015. Estimación de la evapotranspiración de referencia (FAO Penman - Monteith) con limitados datos climáticos en la Cuenca Andina Amazónica Peruana. *Revista peruana Geo – Atmosférica RPGA, Lima, Perú*. 4: 34-36.
- Monje, R. 2006. Manejo de céspedes con bajo consumo de agua. *Jardinería y floricultura, Consejería de Agricultura y Pesca, Sevilla, España*. 11-60 P.
- Ortiz, R; Miranda, H; Peroza, D. 2013. Distribución del agua bajo riego por aspersión y su efecto sobre el cultivo de caraota (*Phaseolus vulgaris* L.). *Revista Científica UDO Agrícola. Lara, Venezuela*. 1: 106-107.
- Parracia, A. N. 2012. Césped: principales especies, manejo y métodos de propagación usados en parques y jardines. Trabajo Final de Ingeniería en Producción Agropecuaria. Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Católica Argentina. 1-14 P.
- Pereira, L. 2010. El riego y sus tecnologías. Centro de Engenharia dos Biosistemas, Instituto Superior de Agronomia, Universidade Técnica de Lisboa, Portugal. 6: 164-168.
- Puppo, L; Garcia-Petillo, M. 2009. Determinación del consumo de agua del duraznero por lisimetría. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental. Agroambi*. 14: 25-31.
- Ramos, C. 2007. Modelo para estimar la evapotranspiración en La Molina. *Anales Científicos de la Universidad Nacional Agraria La Molina* 68 (4): 125-136. The Global Soil Moisture Data Bank.
- Requena, A; Nordenström, G; Castillo, E. 2010. Coeficientes de cultivo de manzano en período de formación, obtenidos en lisímetros de drenaje. *EEA INTA Alto Valle*. 1: 1-7.
- Reyes, S., 2011. Presentación. *Ecología y Biodiversidad: Indicadores y estándares para las ciudades chilenas*. Santiago de Chile.

- Reyes, S.; Figueroa, I. 2010. Distribución, superficie y accesibilidad de las áreas verdes en Santiago de Chile. EURE Revista Latinoamericana de Estudios Urbanos Regionales, 36(109), 89-110.
- Riquelme J. 2010. Incertidumbre de las variables meteorológicas en la estimación de los recursos hídricos futuros en la cuenca del río Pangal. Tesis Ing. Civil, Santiago de Chile, Chile. Universidad de Chile. 55-59 P.
- Rodriguez, E. 2012. Uso de lisímetros de drenaje artesanales para determinar el Kc de los principales estados fenológicos de la uva de mesa cv. Thompson Seedless en el valle de Aconcagua. Tesis Ing. Agrónomo, Aconcagua, Chile. Corporación Universidad de Aconcagua. 26-27 P.
- Shelton, S. 2005. Aprovechamiento de la alta humedad. Revista Greenhouse Products News. Estados Unidos. 2 P.
- Siemens, 2010. Índice de Ciudades Verdes de América Latina. Disponible en [http://www.siemens.com/press/pool/de/.../Study-Latin-American-Green-City-Index\\_spain.pdf](http://www.siemens.com/press/pool/de/.../Study-Latin-American-Green-City-Index_spain.pdf)
- Taylor, M.; Anda, J.; Sturman, K.; Mathew, G. 2006. Subsurface dripline tubing - an experimental design for assessing the effectiveness of using dripline to apply treated wastewater for turf irrigation in Western Australia. Environmental Technology Centre, Murdoch University. Western Australia. 381 P.
- The Lawn Institute, 2009. Benefits of Turfgrass (Estados Unidos). Disponible en [http://www.fundacionpons.org/pdfs\\_ponencias/61/Ponencia\\_20.pdf](http://www.fundacionpons.org/pdfs_ponencias/61/Ponencia_20.pdf).
- Universidad de Chile, 2010, Informe País Estado del Medio Ambiente en Chile 2008.
- Vásquez, A; Vásquez, I. 1992. Principios básicos del riego. Impreso en taller grafico FIMART. 265 p.
- Wherley, B; Dukes, M. D; Cathey, S; Miller, G; Sinclair, T. 2015. Consumptive water use and crop coefficients for warm-season turfgrass species in the Southeastern United States. Agricultural Water Management. 156: 10-18 P.

Wherley, B; Sinclaer, T; Dukes, M. D; Miller, G; Sinclair, T. 2009. Design, construction, and field evaluation of a lysimeter system for determining turfgrass water use. University of Florida, Agronomy. 122: 373- 376 P.

## IX. ANEXOS

### 9.1. ANEXO 1: ANÁLISIS DE SUELO



# UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

## FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA

DEPARTAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS DRH  
LABORATORIO DE AGUA, SUELO, MEDIO AMBIENTE Y FERTIRRIEGO

Av. La Molina s/n. Telefax: 6147800 Anexo 226 Lima. E-mail: las-fia@lamolina.edu.pe



Nº 009640

### ANÁLISIS DE SUELO - RUTINA

SOLICITANTE : UNALM  
PROYECTO : Requerimiento Hídrico del Cesped  
RESP. ANALISIS : Ing. Elizabeth Monterrey Porras  
FECHA DE ANALISIS : La Molina, 15 de Abril del 2016

Número de muestra		CE	pH	M.O.	P	K	CaCO <sub>3</sub>	Al+3+H+1
Lab.	Campo	dS / m	Relación 1:1	%	ppm	ppm	%	
9640	LB1	0.80	8.04	1.99	36.09	242.00	3.79	-

LABORATORIO DE ANÁLISIS DE AGUA Y SUELO

ING. ANTONIO ENCISO GUTIERREZ  
JEFE DE LABORATORIO





# UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

## FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA

DEPARTAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS DRH  
LABORATORIO DE AGUA, SUELO, MEDIO AMBIENTE Y FERTIRRIEGO

Av. La Molina s/n. Telefax: 6147800 Anexo 226 Lima. E-mail: las-fia@lamolina.edu.pe



Nº 010145

### ANÁLISIS DE SUELO - RUTINA

SOLICITANTE : ASTRID CIFUENTES  
PROYECTO : REQUERIMIENTO HIDRICO DEL CESPED  
PROCEDENCIA : Unalm  
RESP. ANALISIS : Ing. Elizabeth Monterrey Porras  
FECHA DE ANALISIS : La Molina, 07 de Julio del 2016

Número de muestra		CE	pH	M.O.	P	K	CaCO <sub>3</sub>	Al <sup>3+</sup> +H <sup>+</sup>
Lab.	Campo	dS / m Relación 1:1	Relación 1:1	%	ppm	ppm	%	
10145	LA	0.73	8.15	2.05	12.03	248.00	3.52	-

LABORATORIO DE ANÁLISIS DE AGUA Y SUELO

*Ing. Msc. Teresa Velásquez Bejarano*  
JEFE DE LABORATORIO





# UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

## FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA

DEPARTAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS DRH  
LABORATORIO DE AGUA, SUELO, MEDIO AMBIENTE Y FERTIRRIEGO

Av. La Molina s/n. Telefax: 6147800 Anexo 226 Lima. E-mail: las-fia@lamolina.edu.pe



Nº 010146

### ANALISIS DE SUELO - RUTINA

SOLICITANTE : ASTRID CIFUENTES  
PROYECTO : REQUERIMIENTO HIDRICO DEL CESPED  
PROCEDENCIA : Unalm  
RESP. ANALISIS : Ing. Elizabeth Monterrey Porras  
FECHA DE ANALISIS : La Molina, 07 de Julio del 2016

Número de muestra		CE	pH	M.O.	P	K	CaCO <sub>3</sub>	Al <sup>3+</sup> +H <sup>+</sup>
Lab.	Campo	dS / m Relación 1:1	Relación 1:1	%	ppm	ppm	%	
10146	LB	0.85	7.99	1.84	12.03	254.00	2.46	-

LABORATORIO DE ANALISIS DE AGUA Y SUELO

Ing. Msc. Teresa Velásquez Bejarano  
JEFE DE LABORATORIO



## MÉTODOS SEGUIDOS EN EL ANÁLISIS

1. Análisis Mecánico: Textura por el Método de Hidrómetro.
2. Conductividad eléctrica: C. E. Lectura de extracto de relación suelo agua 1:1 y extracto de la pasta saturada.
3. pH. Método de potenciómetro, relación suelo-agua 1:1 y en la pasta saturada.
4. Calcáreo total: Método gaso-volumétrico.
5. Materia orgánica: Método de Walkley y Black % M.O. = %C x 1,724
6. Nitrógeno total: Método Micro Kjeldahl.
7. Fósforo: Método de Olsen Modificado, Extracto, NaHCO<sub>3</sub> 0.5M, pH = 8.5
8. Potasio Disponible: Extracto Acetato de Amonio 1N, pH 7,0
9. Capacidad de Intercambio Catiónico: Acetato de Amonio 1N pH 7,0
10. Cambiables: Determinaciones en extracto Amónico.
  - Ca<sup>2+</sup> : Espectrofotometría de Absorción Atómica.
  - Mg<sup>2+</sup> : Espectrofotometría de Absorción Atómica.
  - K<sup>+</sup> : Espectrofotometría de Absorción Atómica.
  - Na<sup>+</sup> : Espectrofotometría de Absorción Atómica.

### 11. Iones Solubles

#### a. Cationes Solubles:

- Ca<sup>2+</sup> : Espectrofotometría de Absorción Atómica.
- Mg<sup>2+</sup> : Espectrofotometría de Absorción Atómica.
- K<sup>+</sup> : Espectrofotometría de Absorción Atómica.
- Na<sup>+</sup> : Espectrofotometría de Absorción Atómica.

#### b. Aniones Solubles:

- Cl<sup>-</sup> : Volumétrico; Nitrato de Plata.
- CO<sub>3</sub><sup>=</sup> : Volumétrico; Ácido Clorhídrico.
- HCO<sub>3</sub><sup>=</sup> : Volumétrico; Ácido Clorhídrico.
- SO<sub>4</sub><sup>=</sup> : Tubidimétrico; Sulfato de Bario.
- NO<sub>3</sub><sup>=</sup> : Colorimétrico.

12. Yeso Soluble: Solubilización con agua y precipitación con acetona.
13. Boro Soluble: Colorimétrico, Método de la Curcumina.

## INTERPRETACIÓN

C.E. (Sales)  
Según respuesta de los cultivos  
(dS/m)

- Muy ligeramente Salino : < 2
- Ligeramente Salino : 2 - 4
- Moderadamente Salino : 4 - 8
- Fuertemente Salino : 8 - 16
- Extremadamente Salino : > 16

### DISPONIBLES

Clase	Materia Orgánica	Calcáreo Total CaCO <sub>3</sub> %	Fósforo P (ppm)	Potasio K (ppm)
Bajo	< 2%	< 1%	< 7%	< 100
Medio	2 - 4%	1 - 5%	7 - 14%	100 - 240
Alto	> 4%	> 5%	> 14%	> 240

### EQUIVALENCIAS

- 1 mmhos/cm = 1 ds/m
- 1 cmol(+)/kg = 1 meq/100gr

### CIC Efectiva

< 5 meq/100 gr	Muy baja
5 - 10	Baja
10 - 15	Medio
15 - 20	Alto
> 20	Muy alto

### Reacción del Suelo (pH)

- 5.1 - 5.5 Fuertemente ácido.
- 5.6 - 6.0 Moderadamente ácido.
- 6.1 - 6.5 Ligeramente ácido.
- 6.6 - 7.3 Neutro.
- 7.4 - 7.8 Ligeramente alcalino.
- 7.9 - 8.4 Moderadamente alcalino.

\* CIC: Capacidad Intercambiable de Cationes.



# UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

## FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA

DEPARTAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS DRH  
**LABORATORIO DE AGUA, SUELO, MEDIO AMBIENTE Y FERTIRRIEGO**

Av. La Molina s/n. Telefax: 6147800 Anexo 226 Lima. E-mail: las-fia@lamolina.edu.pe



**Nº 010284**

### ANÁLISIS DE SUELO

**SOLICITANTE** : JESUS GUSTAVO PADILLA  
**PROYECTO** : Requerimiento Hidrico del cesped  
**PROCEDENCIA** : Unalm  
**RESP. ANALISIS** : Ing. Elizabeth Monterrey Porras  
**FECHA DE ANALISIS** : La Molina, 05 de Agosto del 2016

Número de muestra		Análisis Mecánico			
Lab.	Campo	Arena %	Limo %	Arcilla %	Textura
10284	Suelo	50.00	36.00	14.00	Franco



LABORATORIO DE ANÁLISIS DE AGUA Y SUELO

Ing. Msc. Teresa Velásquez Rojas  
 JEFE DE LABORATORIO

## 9.2. ANEXO 2: ANÁLISIS DE AGUA

	<p><b>UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA</b>  <b>FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA</b>  <b>DEPARTAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS DRH</b>  <b>LABORATORIO DE AGUA, SUELO, MEDIO AMBIENTE Y FERTIRRIEGO</b>          Av. La Molina s/n. Telefax: 6147800 Anexo 226 Lima. E-mail: las-fia@lamolina.edu.pe</p>	 <b>Nº 006874</b>																																				
<h3>ANALISIS DE AGUA - RUTINA</h3>																																						
<b>SOLICITANTE</b>	: UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA																																					
<b>PROCEDENCIA</b>	: La Molina																																					
<b>RESPONSABLE ANALISIS</b>	: Ing. Nore Anívalo Flores																																					
<b>FECHA DE ANALISIS</b>	: La Molina, 13 Abril del 2016																																					
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <tr> <td style="width: 40%;"><b>Nº LABORATORIO</b></td> <td><b>6874</b></td> </tr> <tr> <td><b>Nº DE CAMPO</b></td> <td><b>Agua</b></td> </tr> <tr> <td>CE dS/m</td> <td>0.49</td> </tr> <tr> <td>pH</td> <td>7.24</td> </tr> <tr> <td>Calcio meq/l</td> <td>3.42</td> </tr> <tr> <td>Magnesio meq/l</td> <td>0.52</td> </tr> <tr> <td>Sodio meq/l</td> <td>0.85</td> </tr> <tr> <td>Potasio meq/l</td> <td>0.10</td> </tr> <tr> <td><b>SUMA DE CATIONES</b></td> <td><b>4.89</b></td> </tr> <tr> <td>Cloruro meq/l</td> <td>0.84</td> </tr> <tr> <td>Sulfato meq/l</td> <td>2.36</td> </tr> <tr> <td>Bicarbonato meq/l</td> <td>1.62</td> </tr> <tr> <td>Nitratos meq/l</td> <td>0.00</td> </tr> <tr> <td>Carbonatos meq/l</td> <td>0.00</td> </tr> <tr> <td><b>SUMA DE ANIONES</b></td> <td><b>4.83</b></td> </tr> <tr> <td>SAR</td> <td>0.60</td> </tr> <tr> <td><b>CLASIFICACION</b></td> <td><b>C2-S1</b></td> </tr> <tr> <td>Boro ppm</td> <td>0.31</td> </tr> </table>			<b>Nº LABORATORIO</b>	<b>6874</b>	<b>Nº DE CAMPO</b>	<b>Agua</b>	CE dS/m	0.49	pH	7.24	Calcio meq/l	3.42	Magnesio meq/l	0.52	Sodio meq/l	0.85	Potasio meq/l	0.10	<b>SUMA DE CATIONES</b>	<b>4.89</b>	Cloruro meq/l	0.84	Sulfato meq/l	2.36	Bicarbonato meq/l	1.62	Nitratos meq/l	0.00	Carbonatos meq/l	0.00	<b>SUMA DE ANIONES</b>	<b>4.83</b>	SAR	0.60	<b>CLASIFICACION</b>	<b>C2-S1</b>	Boro ppm	0.31
<b>Nº LABORATORIO</b>	<b>6874</b>																																					
<b>Nº DE CAMPO</b>	<b>Agua</b>																																					
CE dS/m	0.49																																					
pH	7.24																																					
Calcio meq/l	3.42																																					
Magnesio meq/l	0.52																																					
Sodio meq/l	0.85																																					
Potasio meq/l	0.10																																					
<b>SUMA DE CATIONES</b>	<b>4.89</b>																																					
Cloruro meq/l	0.84																																					
Sulfato meq/l	2.36																																					
Bicarbonato meq/l	1.62																																					
Nitratos meq/l	0.00																																					
Carbonatos meq/l	0.00																																					
<b>SUMA DE ANIONES</b>	<b>4.83</b>																																					
SAR	0.60																																					
<b>CLASIFICACION</b>	<b>C2-S1</b>																																					
Boro ppm	0.31																																					
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <tr> <td style="width: 40%;">Turbidez NTU</td> <td>5.78</td> </tr> <tr> <td>Carbonatos mgCaCO3/L</td> <td>0.00</td> </tr> <tr> <td>Sólidos suspendidos mg/L</td> <td>6.84</td> </tr> <tr> <td>DBO5 mgO2/L</td> <td>52.35</td> </tr> <tr> <td>DQO mgO2/L</td> <td>30.00</td> </tr> <tr> <td>Dureza total mgCaCO3/L</td> <td>196.65</td> </tr> </table>			Turbidez NTU	5.78	Carbonatos mgCaCO3/L	0.00	Sólidos suspendidos mg/L	6.84	DBO5 mgO2/L	52.35	DQO mgO2/L	30.00	Dureza total mgCaCO3/L	196.65																								
Turbidez NTU	5.78																																					
Carbonatos mgCaCO3/L	0.00																																					
Sólidos suspendidos mg/L	6.84																																					
DBO5 mgO2/L	52.35																																					
DQO mgO2/L	30.00																																					
Dureza total mgCaCO3/L	196.65																																					
<p>LABORATORIO DE ANALISIS DE AGUA Y SUELO</p>  <b>ING. ANTONIO ENCISO GUTIERREZ</b> JEFE DE LABORATORIO																																						
																																						



**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA**  
**DEPARTAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS DRH**  
**LABORATORIO DE AGUA, SUELO, MEDIO AMBIENTE Y FERTIRRIEGO**



Nº 006953

Av. La Molina s/n. Telefax: 6147800 Anexo 226 Lima. E-mail: las-fla@lamolina.edu.pe

## ANALISIS DE AGUA - RUTINA

**SOLICITANTE** : ASTRID CIFUENTES  
**PROYECTO** : Requerimiento Hidrico de Cesped americano  
**PROCEDENCIA** : Unaim  
**RESPONSABLE ANALISIS** : Ing. Nore Arévalo Flores  
**FECHA DE ANALISIS** : La Molina, 24 Junio del 2016

Nº LABORATORIO	6953
Nº DE CAMPO	Agua
CE dS/m	0.68
pH	7.31
Calcio meq/l	4.66
Magnesio meq/l	0.78
Sodio meq/l	0.83
Potasio meq/l	0.17
<b>SUMA DE CATIONES</b>	<b>6.42</b>
Cloruro meq/l	1.17
Sulfato meq/l	3.26
Bicarbonato meq/l	2.17
Nitratos meq/l	0.02
Carbonatos meq/l	0.00
<b>SUMA DE ANIONES</b>	<b>6.62</b>
SAR	0.50
<b>CLASIFICACION</b>	<b>C2-S1</b>
Boro ppm	0.26

LABORATORIO DE ANALISIS DE AGUA Y SUELO

  
Ing. Nore Arévalo Flores  
JEFE DE LABORATORIO





**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA**  
**DEPARTAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS DRH**  
**LABORATORIO DE AGUA, SUELO, MEDIO AMBIENTE Y FERTIRRIEGO**



Av. La Molina s/n. Telefax: 6147800 Anexo 226 Lima. E-mail: las-fia@lamolina.edu.pe

Nº 003151

**ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO  
DE AGUA**

**SOLICITANTE** : ASTRID CIFUENTES  
**PROYECTO** : Requerimiento Hídrico del Césped americano  
**PROCEDENCIA** : Unalm  
**RESPONSABLE ANALISIS** : Ing. Nore Arévalo Flores  
**FECHA DE ANALISIS** : La Molina, 12 de Julio del 2016

Nº LABORATORIO	3151
Nº DE CAMPO	AR- FIA 4B
Turbiedad NTU	103.00
Dureza total mg CaCO <sub>3</sub> /L	220.45
pH	7.44
DBO <sub>5</sub> mg/O <sub>2</sub> /L	10.000
DQO mg/O <sub>2</sub> /L	27.91
Sólidos suspendidos mg/L	110.00
Carbonatos mgCaCO <sub>3</sub> /L	0.00

LABORATORIO DE ANÁLISIS DE AGUA Y SUELO  
*[Firma]*  
Ing. Msc. Teresa Patricia Siquiera  
JEFE DE LABORATORIO



## CLAVE

### PELIGRO DE SALES

C1 - Salinidad baja	(0.00 - 0.25 dS/m)	:	Buenas para riego de diferentes cultivos. Sólo peligro de salinización de suelos muy impermeables de difícil drenaje interno.
C2 - Salinidad moderada	(0.25 - 0.75 dS/m)	:	De calidad buena para cultivos que se adaptan o toleran moderadamente la sal. Peligro para plantas muy sensibles y suelos impermeables.
C3 - Salinidad entre media y alta	(0.75 - 2.25 dS/m)	:	El suelo debe tener buena permeabilidad. El cultivo seleccionado debe ser tolerante a la sal.
C4 - Salinidad alta	(2.25 - 4.00 dS/m)	:	Sólo para plantas tolerantes y suelos permeables, donde pueden ser necesarios lavados especiales para remover las sales.
C5 - Salinidad muy alta	(4.00 - 6.00 dS/m)	:	Sólo para plantas muy tolerantes, suelos muy permeables y donde se puedan aplicar lavados frecuentes para remover el exceso de sales.
C6 - Salinidad excesiva	(más de 6.00 dS/m)	:	Deben tomarse precauciones para su uso (pueden usarse en suelos muy permeables y/o mezclado con agua de buena calidad).

### PELIGRO DE SODIO

S1 - Poco sodio	Sin peligro.
S2 - Medio sódica	Peligro en suelos de textura fina o arcillosa con alta capacidad de cambio especialmente si la permeabilidad es baja a menos que el suelo contenga yeso. Puede usarse en suelos de textura gruesa entre arenosa y franca orgánica con permeabilidad adecuada.
S3 - Muy sódica	Peligro en suelos de yeso, requieren estos suelos buen drenaje, adición de materia orgánica y eventuales enmiendas químicas, tales como yeso o azufre, que no son efectivos si las aguas son de salinidad alta C4.
S4 - Excesivamente sódica	No sirven generalmente para riego. Sólo cuando la salinidad es baja o media, donde la solución de calcio del suelo o al uso del yeso u otras enmiendas pueden hacer factibles el uso de esta agua.

### PELIGRO DE BORO, CARBONATO DE SODIO RESIDUAL Y DUREZA

Boro		Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> Residual		Dureza Total	
ppm	Clase	meq/l.	Tipo de agua	mgCaCO <sub>3</sub> /l	Tipo de agua
< 0.3	Buena	Menor a 1.25	Recomendable	< 75	Agua blanda
		1.25 - 2.50	Poco recomendable	75 - 150	Agua moderada
0.3 - 4.0	Condicionada	Mayor de 2.50	No recomendable	150 - 300	Agua dura
				> 300	Agua muy dura
> 4.0	No recomendable				



# UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

Av. La Molina s/n La Molina - Lima - Perú  
Teléfono: 6147800 anexo 274



## INFORME DE ENSAYO N° 1606378- LMT

SOLICITANTE : UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

DESCRIPCIÓN DEL OBJETO ENSAYADO

MUESTRA : AGUA PARA RIEGO  
1606378)

PROCEDENCIA : UNALM  
TIPO DE ENVASE : Botella de plástico  
CANTIDAD DE MUESTRA : 01 muestra x 01 und. x 500 ml aprox.  
ESTADO Y CONDICIÓN : En buen estado y cerrado  
FECHA DE MUESTREO : 2016 - 06 - 15  
FECHA DE RECEPCIÓN : 2016 - 06 - 15  
FECHA DE INICIO DE ENSAYO : 2016 - 06 - 15  
FECHA DE TÉRMINO DE ENSAYO : 2016 - 06 - 22

### RESULTADOS DE ANÁLISIS DE LABORATORIO DE MICROBIOLOGIA

Análisis Microbiológico	Muestra 1606378	Estándares Nacionales De Calidad Ambiental Para Agua (*)
<sup>1</sup> Enumeración de coliformes totales (NMP/100 ml)	49	50 x 10 <sup>2</sup>
<sup>1</sup> Enumeración de coliformes fecales (NMP/100 ml)	6.1	10 x 10 <sup>2</sup>
<sup>1</sup> Enumeración de <i>Escherichia coli</i> (NMP/100 ml)	4.0	10 x 10

(\*) Decreto Supremo N° 002-2008-MINAM. Categoría 3: Riego de vegetales y bebida de animales. Vegetales de tallo bajo.

#### Métodos:

<sup>1</sup>SMEWW 21st Ed. 2005, Part 9221. APHA-AWWA-WEF.

#### Observaciones:

Informe de ensayo emitido sobre la base de resultados de nuestro laboratorio en muestras proporcionadas por el solicitante.

Prohibida la reproducción total o parcial de este informe, sin nuestra autorización escrita.

Validez del documento:

Este documento tiene validez sólo para la muestra descrita.



La Molina, 30 de junio del 2016

  
DRA. DORIS ZUNIGA DÁVILA

Jefe del Laboratorio de Ecología Microbiana  
y Biotecnología "Marino Tabusso"  
Universidad Nacional Agraria La Molina

Teléfono: 614 7800 anexo 274

E-mail: [lmt@lamolina.edu.pe](mailto:lmt@lamolina.edu.pe)

LABORATORIO DE ECOLOGIA MICROBIANA Y BIOTECNOLOGIA "MARINO TABUSSO"

☐ (511)7995788 ó 614-7800 anexo 274 - Fax (511) 349-2805 - E-mail: [lmt@lamolina.edu.pe](mailto:lmt@lamolina.edu.pe)  
Apartado Postal 456 - Lima 12 - PERU

### 9.3. ANEXO 3: MATERIALES Y EQUIPOS USADOS EN LA INVESTIGACIÓN

**Tabla 23: Materiales y equipos usados en la investigación**

Numero	Descripción	Cantidad	Unidad	Precio S/.	Total S/.	Cotización
<b>1</b>	<b>Equipos</b>				1606.40	
	ELECTROBOMBA PEDROLLO Q 0.5 LPS PRESION BOMBA 25M POT 0.85HP	1	UND	710.40	710.40	ORBES. SAC
	Sensor de humedad 0-200cbar, WATERMARK	4	UND	224.00	896.00	TECFRESH
<b>2</b>	<b>Materiales</b>				7357.44	
	ROCIADOR UNISPRAY 1/2" X 4 RAINBIRD	20	UND	15.00	300.00	ORBES. SAC
	BOQUILLA VAN 4 RAINBIRD	8	UND	6.00	48.00	ORBES. SAC
	CODO PE DENTADO 1/2" X 16MM SAB	16	UND	1.6	25.60	ORBES. SAC
	ABRAZADERA-COLLARIN PE 32mm X 3/4" SAB	20	UND	6.5	130.00	ORBES. SAC
	BUSHING PE 3/4" X 1/2" SAB	20	UND	2.00	40.00	ORBES. SAC
	CINTA TEFLON 12MM X 10YDS	136	UND	1.20	163.20	ORBES. SAC
	BOQUILLA VAN 10 RAINBIRD	12	UND	6.00	72.00	ORBES. SAC
	VALVULA DE ACOPLER RAPIDO 3/4 PLAST PROJECT	1	UND	18.00	18.00	ORBES. SAC
	LLAVE BAYONETA 3/4" PLAST PROJECT	1	UND	8.00	8.00	ORBES. SAC
	CODO PE C/AZUL 25MM X 3/4" SAB	1	UND	20.00	20.00	ORBES. SAC
	TANQUE ETERNIT NEGRO 1100LT C/ACC BASICOS	1	UND	580.00	580.00	ORBES. SAC
	UNION UNIVERSAL PVC 1" C/ROSCA SANKING	2	UND	12.50	25.00	ORBES. SAC
	NIPLE ELEVADOR PVC 1" X 10CM	2	UND	2.00	4.00	ORBES. SAC
	UNION SIMPLE PVC 1" RH PLASTICA	6	UND	2.50	15.00	ORBES. SAC
	VALVULA CHECK 1" PLASSON	1	UND	50.00	50.00	ORBES. SAC
	FILTRO DE ANILLA 1" AZUD	2	UND	40.00	80.00	ORBES. SAC
	AGUJA DE MANOMETRO NACIONAL 1/4" RH	2	UND	10.00	20.00	ORBES. SAC
	MANOMETRO DE 10 BAR 1/4" GLICERINA VYRSA	2	UND	46.00	92.00	ORBES. SAC

Continuación

	MACETA DE POLIPROPILENO PARA LISIMETRO	2	UND	241.50	483.00	ORBES. SAC
	MACETA CON TAPA BASE DEL LISIMETRO	2	UND	47.00	94.00	ORBES. SAC
	GRAVA DE 2MM PARA LISIMETRO BOLSA X 40KG	2	UND	60.00	120.00	ORBES. SAC
	RECIPIENTE PARA MEDIR VOLUMEN 45X30X80CM	2	UND	20.00	40.00	ORBES. SAC
	VALVULA PLASSON DE1/2" RM	14	UND	45.00	630.00	ORBES. SAC
	CAUDALIMETRO 1/2" TIPO DOMICILIARIO	2	UND	132.00	264.00	ORBES. SAC
	MALLA GALVANIZADA DE 1/2" 0.95M	6	MET	3.90	23.40	ORBES. SAC
	SILICONA BAÑOS Y COCINAS 300ML BLANCA TOPE ACCESORIO	2	UND	23.00	46.00	ORBES. SAC
	TOMA DE PRESION 1/4" PLASTICO	8	UND	3.00	24.00	ORBES. SAC
	VALVULA DE AIRE 1" SIMPLE EFECTO VYR	12	UND	45.00	540.00	ORBES. SAC
	CLAVO PARA MADERA C/CABEZA DE 1 1/2"	6	KGR	5.00	30.00	ORBES. SAC
	ABRAZADERA - COLLARIN PE 50mm X3/4" SAB	1	UND	6.20	6.20	ORBES. SAC
	NIPLE PE 1/2" SAB	13	UND	0.80	10.40	ORBES. SAC
	TUBO PVC 1" AGUA T/E C -10	27	UND	15.00	405.00	ORBES. SAC
	CODO PVC 1" X 90° SP INV. PLASTICA	37	UND	3.00	111.00	ORBES. SAC
	CODO PVC 1" X 45° NACIONAL	16	UND	3.00	48.00	ORBES. SAC
	ADAPTADOR UPR PVC 1" INV PLASTICA	24	UND	2.50	60.00	ORBES. SAC
	TAPON PVC 1" RH INV PLASTICA	10	UND	3.00	30.00	ORBES. SAC
	PEGAMENTO 1/4 GLN NEGRO DATEY	2	UND	35.00	70.00	ORBES. SAC
	TEE PVC 1" SP PLASTICA	24	UND	3.00	72.00	ORBES. SAC
	REDUCCION PVC 1" X 1/2" C/ROSCA PLASTICA	44	UND	2.00	88.00	ORBES. SAC
	UNION SIMPLE PVC 1/2" C/ROSCA PLASTICA	28	UND	2.00	56.00	ORBES. SAC
	ABRAZADERA - COLLARIN PE 32mm x 1/2" SAB	16	UND	5.50	88.00	ORBES. SAC
	BUSHING PE 1/2" X 1/4" TEFFEN	16	UND	4.50	72.00	ORBES. SAC
	TERMINAL DE LINEA DE 16mm SAB C DRIP	12	UND	0.40	4.80	ORBES. SAC
	TEE PE DENTADA 16mm SAB	100	UND	0.42	42.00	ORBES. SAC

Continuación

	CODO PE DENTADO 16mm SAB	35	UND	0.42	14.70	ORBES. SAC
	VALVULA RAMAL MANGUERA MANGUERA 16mm AZUD	15	UND	2.50	37.50	ORBES. SAC
	REDUCCION PVC 1" X 3/4" RM C - 10 TF	12	UND	2.00	24.00	ORBES. SAC
	UNION PE 3/4" R/H ABRISA	12	UND	2.00	24.00	ORBES. SAC
	CODO PE DENTADO 3/4" X 16mm SAB	12	UND	2.00	24.00	ORBES. SAC
	ABRAZADERA - COLLARIN PE 32mm x 1" SAB	12	UND	6.50	78.00	ORBES. SAC
	NIPLE PE 1/2" SAB R/M	12	UND	0.80	9.60	ORBES. SAC
	VALVULA ESFERICA PVC 1" SP SANKING	4	UND	8.00	32.00	ORBES. SAC
	ALAMBRE NEGRO NRO 16	12	UND	6.50	78.00	ORBES. SAC
	TABLERO ELECTRICO DE 0.8 HP MONOF. ARRANQUE DIRECTO	1	UND	360.00	360.00	ORBES. SAC
	CABLE VULCANIZADO TTRF - 70 2X12 AWG	15	UND	5.80	87.00	ORBES. SAC
	CEMENTO TIPO 1 PORTLAND X 42.5 Kg.	2	BOLSA	24.50	49.00	ORBES. SAC
	BUSHING PE 1 1/2" X 1" SAB	1	UND		0.00	ORBES. SAC
	ARENA GRUESA	0.5	MT3	50.00	25.00	ORBES. SAC
	POSTES DE MADERA 2" X 2" X 8	42	M	5.32	223.44	ORBES. SAC
	MALLA RASCHELL VERDE 90% 4.2 MT X 100 MT	1	MET	12.00	12.00	ORBES. SAC
	WINCHA DE 5MTS KAMASA	1	UND		0.00	ORBES. SAC
	MANGUERA PEBD (3/4") 25 mm C - 4 ORBES DRIP	20	M	1.15	23.00	ORBES. SAC
	CONECTOR INICIAL + EMPAQUE 16mm ABRISA	8	UND	3.00	24.00	ORBES. SAC
	BOMBA DE SUCCION MANUAL HUMBOLDT	1	UND	182.20	182.20	ORBES. SAC
	ZERRUCHO LUCTADOR 16" STANLEY	1	UND	22.00	22.00	ORBES. SAC
	CAL DE OBRA DE 2KG	1	UND	14.40	14.40	ORBES. SAC
	ADAPTADOR PE 3/4" X 16mm SAB	1	UND	5.00	5.00	
	MANGUERA PEBD 16mm C-4 ORBES DRIP	100	M	0.60	60.00	ORBES. SAC
	MODULO PEQUEÑO CON TECHO MACHIMBRADO PARA CASETA DE RIEGO	1	UND	800.00	800.00	ORBES. SAC

Continuación

<b>3</b>	<b>Servicios</b>				4072.80	
	SERVICIO DE INSTALACION DE TABLERO ELECTRICO	1	GLB	660.00	660.00	ORBES. SAC
	EXCAVACION DE ZANJA PARA LISIMETROS VOL EXCAVACION 3.5M3	1	UND	336.00	336.00	ORBES. SAC
	SERVICIO DE INSTALACION DE CERCO PERIMETRICO DEL AREA DE ESTUDIO	1	UND	168.00	168.00	ORBES. SAC
	SEMBRADO DE GRASS INCLUYE EL GRASS	1	UND	403.20	403.20	ORBES. SAC
	INSTALACION DE TUBERIAS, MANGUERAS, ASPERSORES Y ENTERRADO	1	UND	336.00	336.00	ORBES. SAC
	SERVICIO DE ARMADO DE MODULO PEQUEÑO DE CASETA DE BOMBEO	1	UND	201.60	201.60	ORBES. SAC
	ANALISIS ENUMERACION DE COLIFORMES TOTALES, FECALES Y ESCHERICHA	3	ANALISIS	110.00	330.00	ORBES. SAC
	ANALISIS AGUA COMPLETO DE RTUINA: ANIONES, CATIONES, Ph, BORO	6	ANALISIS	52.50	315.00	ORBES. SAC
	DEMANDA QUIMICA DE OXIGENO	6	ANALISIS	49.00	294.00	ORBES. SAC
	ANALISIS CARBONATOS	6	ANALISIS	21.00	126.00	ORBES. SAC
	ANALISIS SOLIDOS SUSPENDIDOS	6	ANALISIS	21.00	126.00	ORBES. SAC
	ANALISIS DBO	6	ANALISIS	42.00	252.00	ORBES. SAC
	ANALISIS DE TURBIDEZ	5	ANALISIS	21.00	105.00	ORBES. SAC
	ANALISIS DE DUREZA	5	ANALISIS	21.00	105.00	ORBES. SAC
	ANALISIS DE SUELO COMPLETO DE RUTINA: Ph, CE, M, O , K, CaCO3+H	9	ANALISIS	35.00	315.00	ORBES. SAC

## **9.4. ANEXO 4: MANUAL DE PROCEDIMIENTOS**

### **ACTIVIDADES DIARIAS:**

Hora de llegada: La hora de llegada debe ser entre 8 y 10 de la mañana puesto que las mediciones requieren de un intervalo de tiempo constante y por las mañanas.

#### **ACTIVIDAD 1: Lectura de la ETo en el Tanque Evaporímetro Clase A**

Dicha actividad consiste en medir la evaporación diaria mediante el tanque evaporímetro. Para ello se enraza la punta del tornillo micrométrico con el pelo de agua y se anota el valor que marque el tornillo, la escala vertical indica las unidades mientras que la escala horizontal (circular) indica las centésimas, es decir la precisión en centésimas.

Cabe destacar que el cambio de agua del tanque evaporímetro debe efectuarse se forma semanal pues la acumulación de elementos ajenos al agua incrementa la turbidez y perjudica las lecturas. El borde libre (Según FAO) debe ser de 5cm, mientras que el tornillo se debe dejar al nivel de 50mm para tener un mayor rango de mediciones y lo máximo que puede disminuir el nivel de agua es de 7.5cm. Adicionalmente para evitar la formación de algas, se debe agregar 10 g de sulfato de cobre al tanque en cada cambio de agua, y como el objetivo es evitar las partículas suspendidas, se debe emplear agua potable para el llenado del tanque.

Se debe anotar en una libreta la hora en la que se efectúa la medida y el valor en mm que se lea del tanque.

Además, los valores de la ETo deben estar multiplicados por el coeficiente del tanque evaporímetro cuyo valor es 0.8, es necesario hacer esta corrección para determinar la lámina que se debe regar a cada una de las parcelas.

#### **ACTIVIDAD 2: Medición de los tensiómetros y sensores Watermark**

En las horas de las mañanas, en caso ese día exista un evento de riego se debe monitorear antes del mismo. Considerar que los tensiómetros indicaran distintos valores debido a la variabilidad del suelo. Las medidas se tomarán en unidades de cbar y luego se pasarán a valores de lámina (mm) para utilizar este valor en el balance hídrico del suelo.

## **ACTIVIDADES SEMANALES:**

### **ACTIVIDAD 1: Riego en parcelas con lisímetros**

El riego debe darse cuando la ETo acumulada del tanque sea alrededor de 10 mm, y también apoyarse en los valores que indican los tensiómetros y los sensores Watermark. A lo largo del proceso de la investigación y de acuerdo a la bibliografía es bueno brindar un 30 % más de riego para incentivar el drenaje del agua. Las velocidades de aplicación en las dos parcelas son variables, se recomienda realizar la prueba de uniformidad para calcular dicho valor. Un día después del riego se debe realizar el bombeo del agua drenada, utilizando la bomba manual Humboldt. Se debe dejar un día después del riego para dar un tiempo necesario para el drenaje del agua.

### **ACTIVIDAD 2: Descarga de datos de la estación meteorológica**

Dicha actividad consiste en acercarse a la Laboratorio de Recursos Hídricos de la Facultad de Ingeniería Agrícola, donde se encuentra instalada una estación meteorológica automática Davis Vantage Pro 2. La descarga de datos requiere de una Laptop o Tablet a la cual se conecta a uno de los puertos USB el cable de la consola de la estación. Además, se debe tener instalado el programa Weather Link en el ordenador o Tablet para acceder a los datos registrados.

En la interfaz del software (y con el cable USB conectado al ordenador) se selecciona la opción OPEN STATION, después de lo cual aparece una ventana de donde se selecciona la carpeta donde se guardarán los datos descargados.

Luego, se da un clic en el icono de DOWNLOAD THE WEATHER STATION y aparece el porcentaje de uso de la memoria de la consola y se da un clic en ACEPTAR.

Los datos descargados se exportan en formato de texto ingresando menú BROWSE y entre las opciones se elige EXPORT RECORDS.

Con respecto a la memoria, no permitir que el porcentaje de almacenamiento supere el 60% debido a que ello podría generar superposición de días y por lo tanto la pérdida de datos.

Por otro lado, la consola se encuentra en la oficina del Ing. Miguel Canales, por lo que para acceder a la misma se debe contar con su autorización o de lo contrario solicitar por correo electrónico los datos descargados a la computadora ubicada en dicha oficina.

También es necesario mencionar que las pilas de la consola se deben cambiar cada 4 meses, por recomendaciones del fabricante es necesario realizar el mantenimiento de la estación al menos una vez por año (más información revisar manual de la estación meteorológica). Y en caso exista algún problema con los equipos y sean de tipo físico o constantes (más de 1 semana) contactarse con cualquiera de las siguientes personas: Hatsumi Wong o Harol. Dichas personas son los vendedores de la estación meteorológica de la empresa Bionet, hacer mención del proyecto, la UNALM, la FIA y que se instaló a inicios de marzo. Cualquier falla siempre mencionarlo al Ing. Ascencios o al Ing. Chavarri.

### **ACTIVIDADES QUINCENALES Y MENSUALES:**

#### **ACTIVIDAD 1: Reposición de agua destilada en los tensiómetros (cada mes)**

En el laboratorio de riego y drenaje hay agua destilada, también se utilizara una piceta para la extracción del agua (succionar el agua) y a su vez para el llenado del tensiómetro. El agua que se utilizara será una mezcla de agua destilada y 10 gr. de sulfato de cobre (evitar crecimiento de algas), esta solución será la que quede en el interior del tensiómetro. Al realizar esta operación se deberá esperar alrededor de 1 hora para que el instrumento se estabilice.

#### **ACTIVIDAD 2: Limpieza de los filtros internos de los difusores (cada dos meses)**

Para esta actividad se debe utilizar lejía para una mayor purga de los microorganismos y formaciones de algas que existan en los filtros. Después de realizar esta actividad se deberá realizar una prueba de uniformidad y una regulación de los difusores, porque la velocidad de aplicación tendrá variaciones.

### **OPERACIONES Y MANEJO DEL SISTEMA HIDRÁULICO**

**Operación de la bomba:** El sistema hidráulico cuenta con una electrobomba Pedrollo de 0.85 HP (25 m. de presión) para el funcionamiento del riego presurizado. Para poder accionar

la bomba se tiene instalado un tablero eléctrico monofásico arranque directo. Dicho tablero eléctrico cuenta con una llave de cuchillas, ubicada en el interior del tablero para permitir el paso de la energía eléctrica de la fuente al tablero, es importante considerar ello porque de ser necesario se puede bajar la llave en caso el sistema no se utilice en 4 o 5 días por razones de seguridad.

El encendido de la bomba es manera manual, solo es necesario presionar el botón verde y para apagarla presionar el botón rojo. Dichos botones o comandos están en la tapa del tablero.

**Manejo de la válvula de alivio:** Esta válvula no se consideró en el planteamiento del proyecto, porque tanto el sistema de riego como el área experimental son de dimensiones poco significativas comparadas al común de los proyectos de riego. De no considerarse este sistema de alivio se presentarían fallas en las mangueras ciegas de drenaje en el sistema de riego subterráneo. Por tanto para graduar las distintas presiones necesarias para las dos investigaciones que se llevan a cabo, es necesario graduar la válvula de globo instalada en este sistema de alivio, ayudándonos de manómetros para la regulación de la presión del sistema hidráulico.

Para las dos investigaciones se recomienda mantener una presión en campo de 1.5 bar o 15 mca.

**Fuentes de agua:** En todo sistema de riego es de vital importancia para su funcionamiento una fuente de agua. En particular para el riego presurizado es necesario tener un reservorio o una fuente de agua continua. Para ello en esta investigación se utiliza un tanque de agua de 1100 L. El llenado del mismo se realiza comúnmente de una válvula de acople rápido ubicado en la esquina de la berma que está próxima a la entrada de vehículos del pool de máquinas. Para ello se cuenta con una manguera con todo sus accesorios necesarios para la extracción del agua de la válvula de acople rápido perteneciente al sistema de riego de jardines del campus de la UNALM (en caso no haya agua preguntar al técnico Alan Santibañez).

De ser el caso que no esté habilitada la válvula de acople rápido o no halla agua, se pedirá la ayuda del técnico Alan Santibañez para que brinde el agua necesaria del reservorio ubicada atrás del Laboratorio Marino Tabusso.

Como última opción también se cuenta con una fuente de agua ubicada a la espalda de la facultad de Ingeniería Agrícola, considerar que esta fuente de agua es la última alternativa para utilizar porque la composición del agua que provee es distinta a los otras fuentes mencionadas, y ello puede provocar una alteración en la investigación de utilizar continuamente esta fuente de agua.

### 9.5. ANEXO 5: CURVAS DE RETENCIÓN DE HUMEDAD DE LOS SENSORES DE HUMEDAD

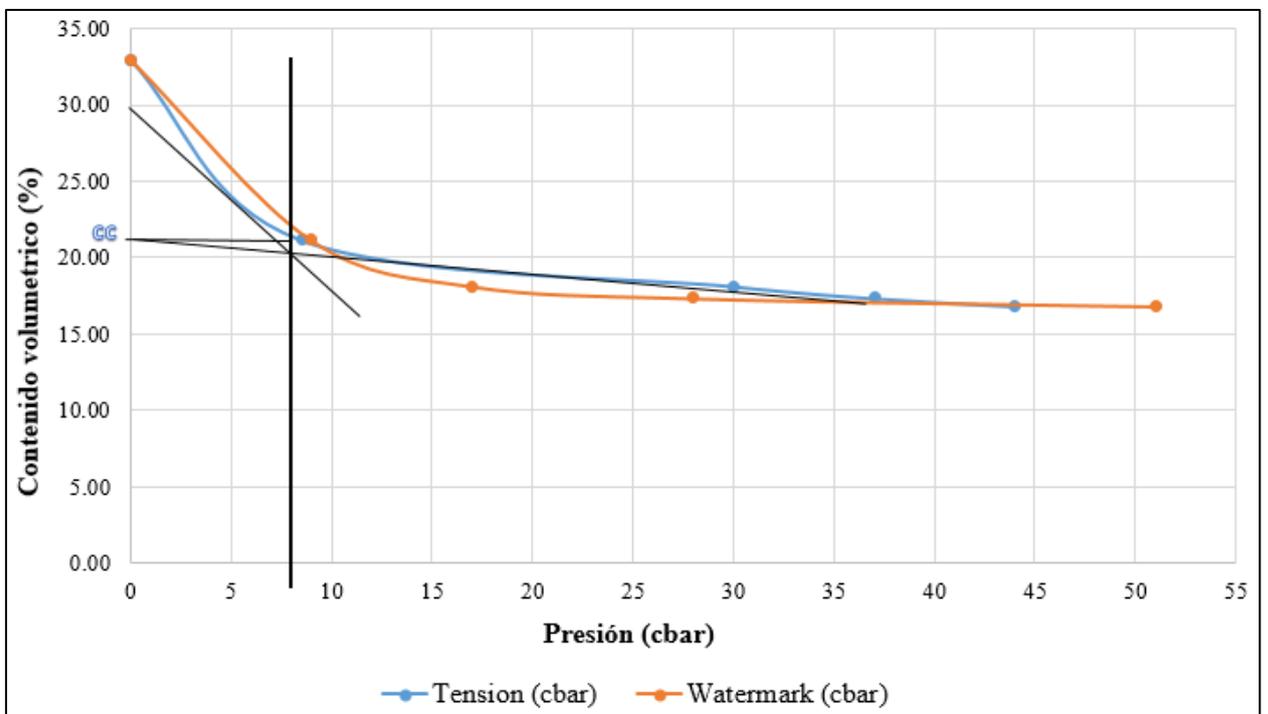
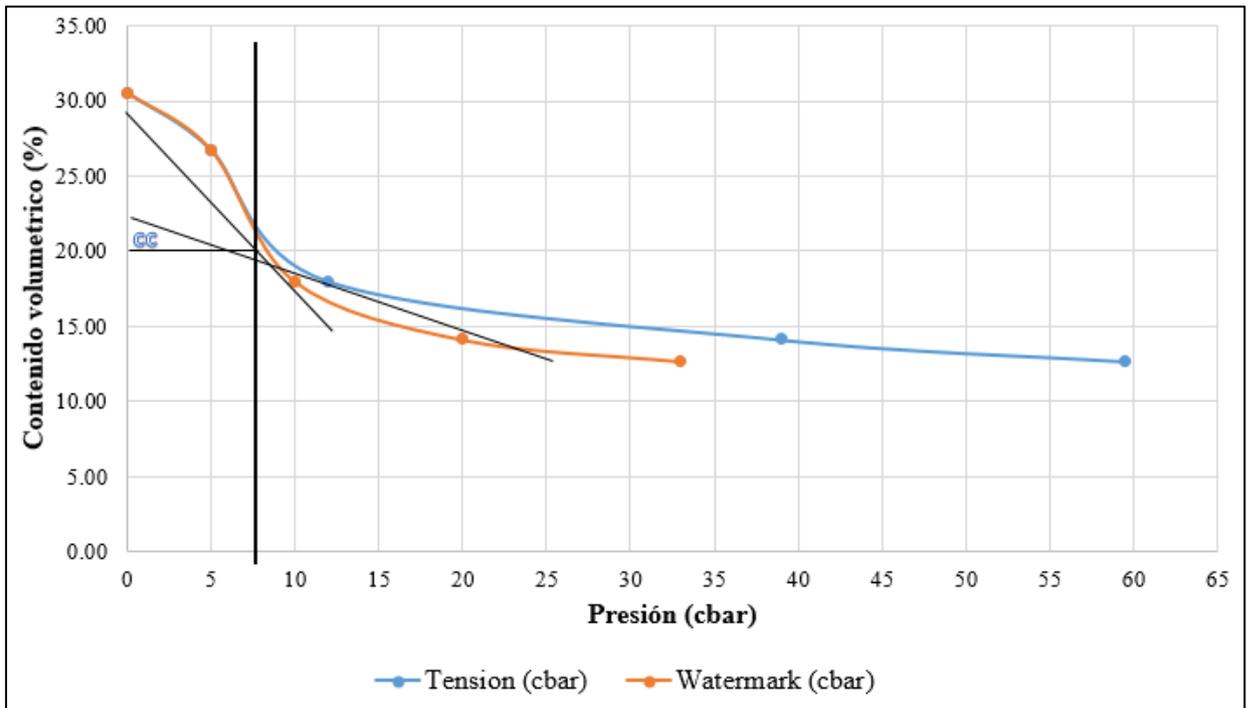


Figura 65: Curvas de retención de humedad para cada tipo de sensor en la parcela A



**Figura 66: Curvas de retención de humedad para cada tipo de sensor en la parcela B**

## 9.6. ANEXO 6: FOTOGRAFÍAS TOMADAS DURANTE LA INVESTIGACIÓN



**Figura 67: Reconocimiento del área experimental**



**Figura 68: Instalación de tuberías**



**Figura 69: Instalación del tablero eléctrico**



**Figura 70: Bomba hidráulica del sistema de riego**



**Figura 71: Tablero eléctrico**



**Figura 72: Sistema de alivio de presión**



**Figura 73: Pluviómetro de la estación meteorológica Davis**



**Figura 74: Reconocimiento del tanque evaporímetro y ajuste el tornillo micrométrico**



**Figura 75: Llenado del tanque evaporímetro**



**Figura 76: Esquejes de césped para la siembra**



**Figura 77: Armado de los difusores de riego**



**Figura 78: Vista del almacén del agua drenada del lisímetro en campo**



**Figura 79: Instalación de los sensores de humedad**



**Figura 80: Medición de la profundidad de los sensores Watermark**



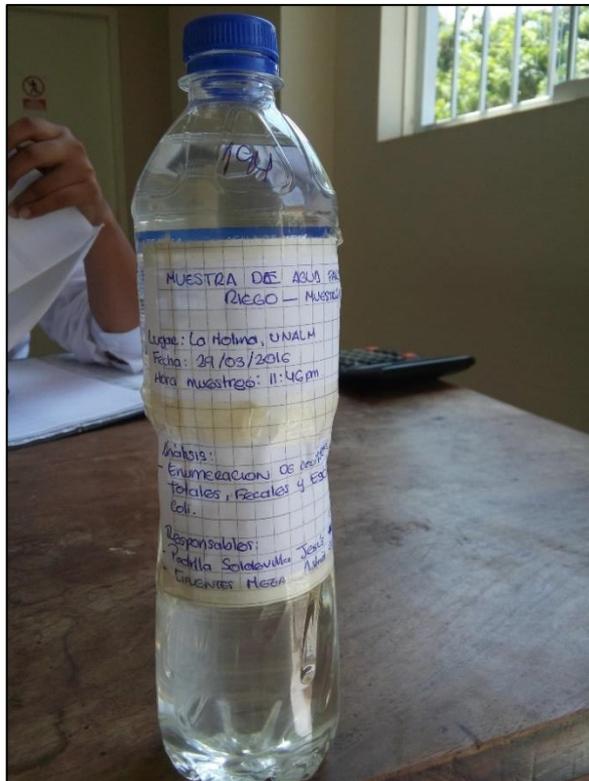
**Figura 81: Vista del agua drenada de los lisímetros**



**Figura 82: Mantenimientos de los filtros en el cabezal de riego**



**Figura 83: Muestreo de suelo**



**Figura 84: Muestreo de agua**



Figura 85: Disposición de las parcelas demostrativas al finalizar la investigación

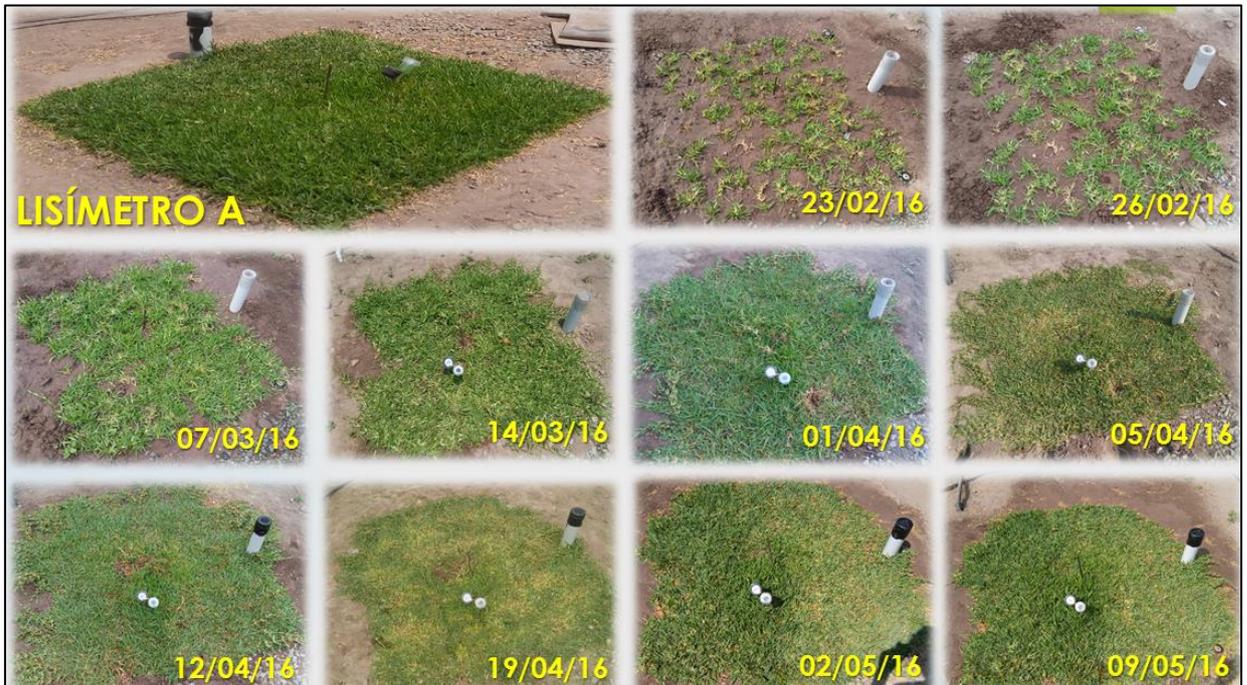
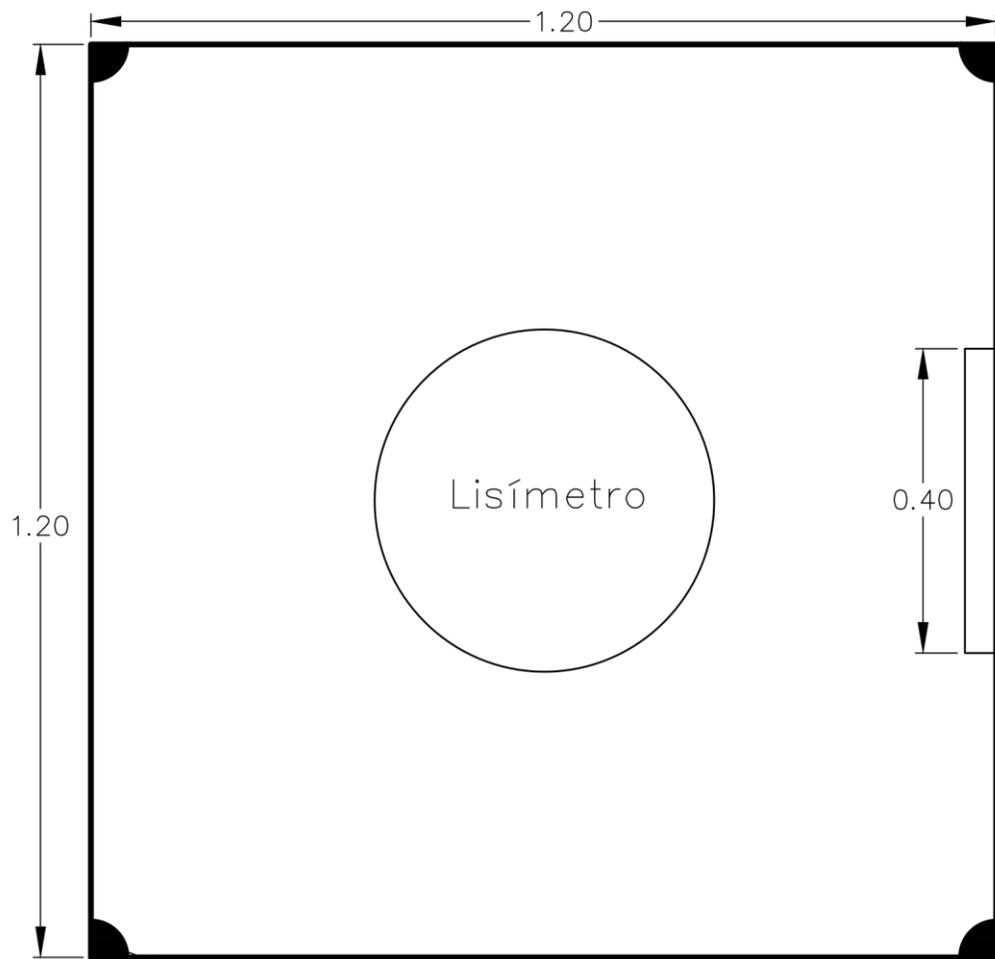


Figura 86: Desarrollo del césped durante la investigación en la parcela A

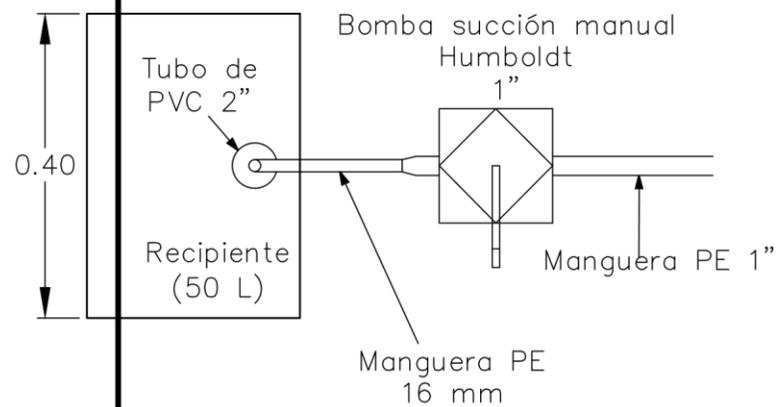


**Figura 87: Desarrollo del césped durante la investigación en la parcela B**

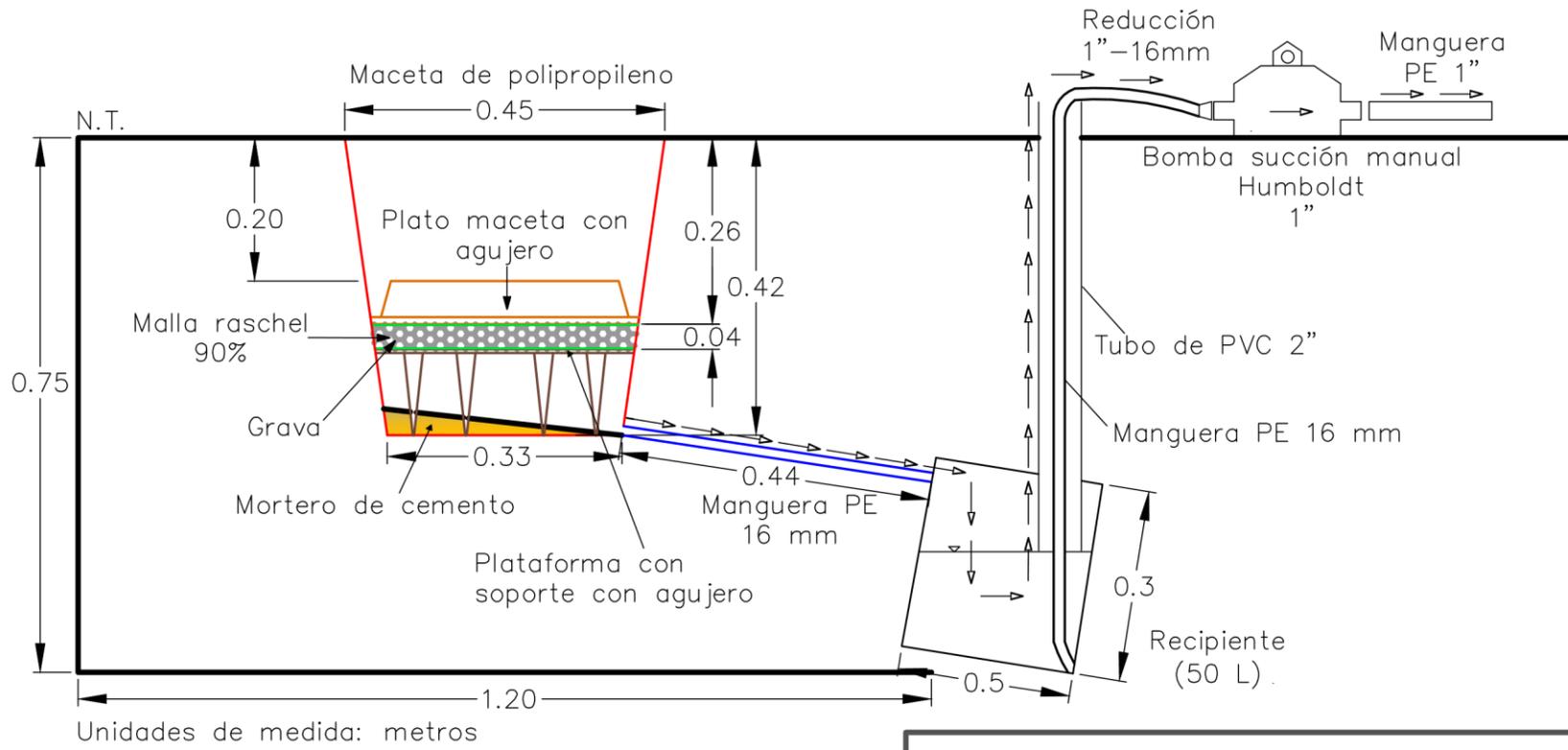
## **9.7. ANEXO 7: PLANO DEL LISÍMETRO DE DRENAJE**



Emisor de riego VAN4  
 Unidades de medida: metros



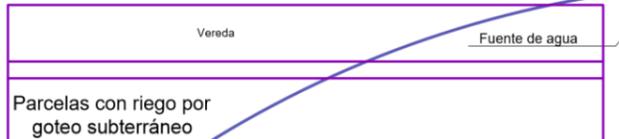
 <b>UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA          LA MOLINA</b> FACULTAD DE INGENIERIA AGRICOLA		
TESIS: <b>Coefficiente de cultivo para el césped americano (<i>Stenotaphrum secundatum</i>) utilizando lisímetros de drenaje, durante la estación de otoño - UNALM</b>		
PLANO: <b>Esquema y componentes del lisímetro de drenaje - Vista Planta</b>		
TESISISTA: PADILLA SOLDEVILLA JESÚS GUSTAVO	UBICACION: DEPARTAMENTO: LIMA	LAMINA: <b>N° 01</b>
ASESOR: ASCENCIO TEMPO DAVID	PROVINCIA : LIMA	
ESCALA: 1:10	FECHA: 11 / 10 / 2016	DISTRITO : LA MOLINA



	<b>UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA</b> FACULTAD DE INGENIERIA AGRICOLA	
TESIS: <b>"Coeficiente de cultivo para el césped americano (<i>Stenotaphrum secundatum</i>) utilizando lisímetros de drenaje, durante la estación de otoño - UNALM"</b>		
PLANO: <b>Esquema y componentes del lisímetro de drenaje - Vista Perfil</b>		
TESISISTA: <b>PADILLA SOLDEVILLA JESÚS GUSTAVO</b>	UBICACION: <b>DEPARTAMENTO: LIMA</b>	LAMINA: <b>N° 02</b>
ASESOR: <b>ASCENCIOS TEMPO DAVID</b>	PROVINCIA : <b>LIMA</b>	
ESCALA: <b>1:10</b>	FECHA: <b>11 / 10 / 2016</b>	DISTRITO : <b>LA MOLINA</b>

## **9.8. ANEXO 8: PLANO DEL SISTEMA DE RIEGO**

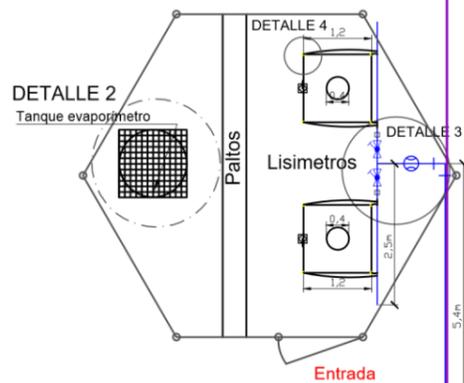
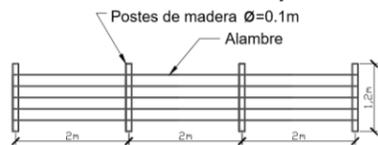
Valvula de acople rapido (Sistema de riego de jardines en la UNALM)



**Leyenda**

Símbolo	Significado
	Manómetro
	Válvula check
	Medidor
	Válvula de paso
	Difusor Rain Bird Serie 4 -VAN de 1/2"
	Bomba 0.85 HP
	Codo PVC
	Tee PVC
	Difusor Rain Bird Serie 10 -VAN de 1/2"
	Válvula Plasson 1/2 " RM
	Punto de control
	Filtro de anillos
	Válvula de bola
	Enchufe convencional 220 V
	Tablero de instalacion electrica
	Tubería polietileno 16 mm
	Tubería polietileno 32mm
	Tubería PVC 1" Clase 5

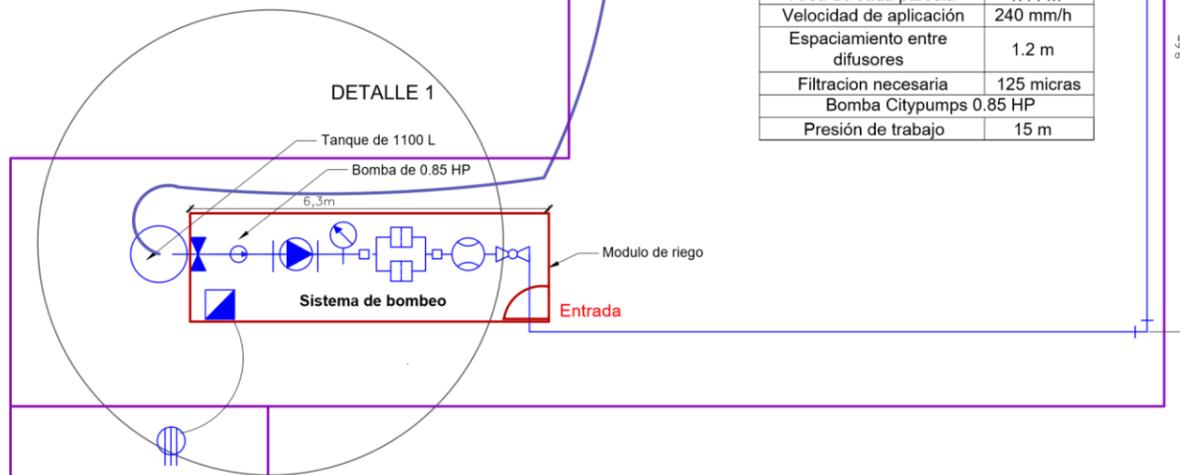
**Detalle del cerco de protección del área de trabajo**



INSTALACIONES
Instalación del sistema de bombeo (Incluido parte eléctrica)
Instalación del sistema de riego por aspersión
Instalación y construcción de lisímetros de drenaje
Instalación del cerco de protección para el estudio

Características del sistema de riego por aspersión	
Área de cada parcela	1.44 m <sup>2</sup>
Velocidad de aplicación	240 mm/h
Espaciamiento entre difusores	1.2 m
Filtración necesaria	125 micras
Bomba Citypumps	0.85 HP
Presión de trabajo	15 m

**DETALLE 1**



Oficina



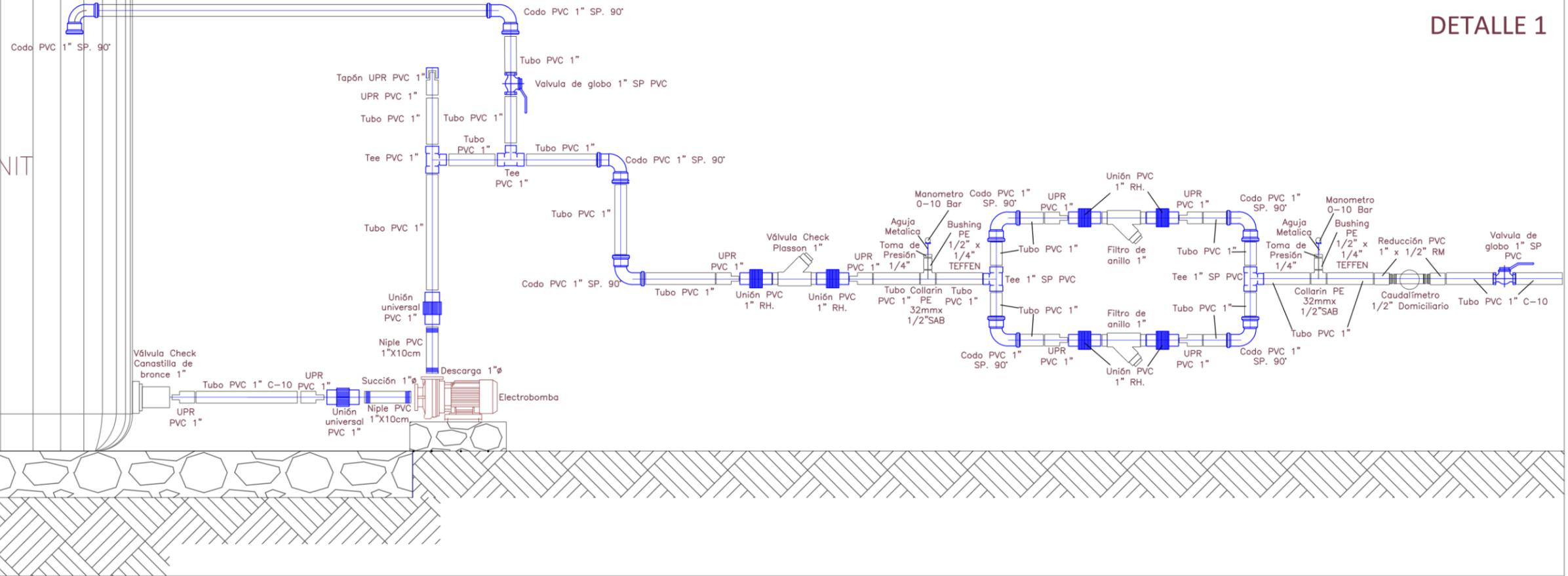
**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA  
LA MOLINA**  
FACULTAD DE INGENIERIA AGRICOLA



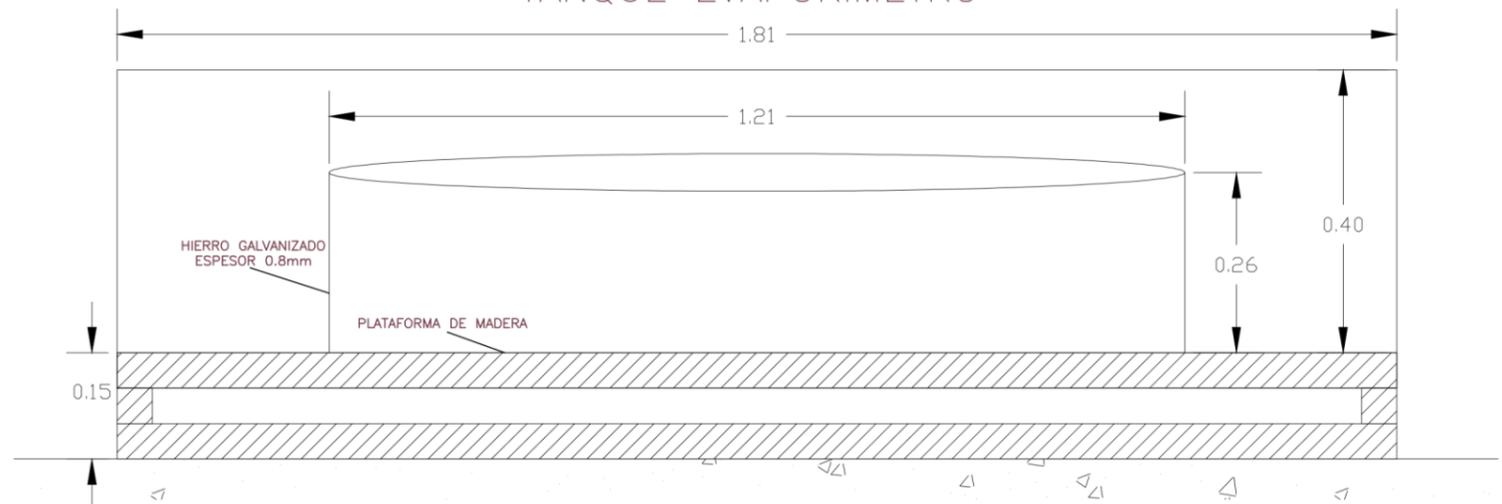
TESIS: "Coeficiente de cultivo para el césped americano ( <i>Stenotaphrum secundatum</i> ) utilizando lisímetros de drenaje, durante la estación de otoño - UNALM"			
PLANO: Esquema y componentes del sistema de riego por aspersión			
TESISISTA: PADILLA SOLDEVILLA JESUS GUSTAVO	UBICACION: DEPARTAMENTO: LIMA	LAMINA:	
ASESOR: ASCENCIOS TEMPO DAVID	PROVINCIA : LIMA	<h1 style="font-size: 2em; margin: 0;">N° 03</h1>	
ESCALA: 1:125	FECHA: 13 / 12 / 2016		

**DETALLE 1**

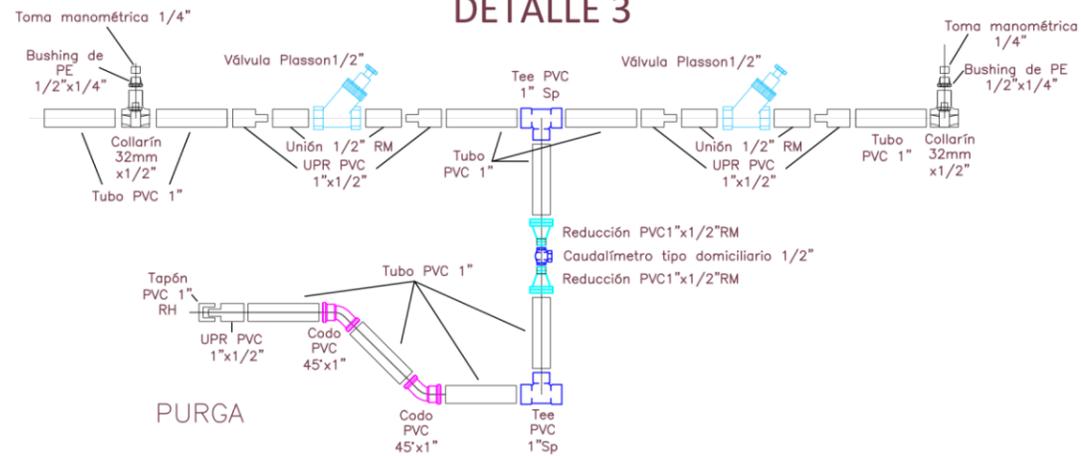
Tanque ETERNIT 1100L



**DETALLE 2**  
TANQUE EVAPORIMETRO

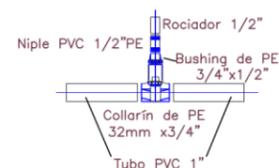


**DETALLE 3**



PURGA

**DETALLE 4**  
ROCIADOR CON BOQUILLA VAN 10



<p><b>UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA</b> <b>LA MOLINA</b> FACULTAD DE INGENIERIA AGRICOLA</p>		
<p>TESIS: "Coeficiente de cultivo para el césped americano (<i>Stenotaphrum secundatum</i>) utilizando lisímetros de drenaje, durante la estación de otoño - UNALM"</p>		
<p>PLANO: Detalles del sistema de riego por aspersión</p>		
<p>TESISTA: PADILLA SOLDEVILLA JESUS GUSTAVO</p>	<p>UBICACION: DEPARTAMENTO: LIMA</p>	<p>LAMINA:</p>
<p>ASESOR: ASCENCIOS TEMPO DAVID</p>	<p>PROVINCIA : LIMA</p>	<p><b>N° 04</b></p>
<p>ESCALA: 1:10</p>	<p>FECHA: 13 / 12 / 2016</p>	